

Pro gradu -tutkielma
Mat., fys., ja kem. opettajan maisteriohjelma
Fysiikan opettajan linja

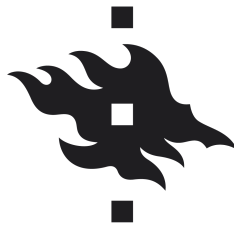
Viisi sääntöä sähköistämiseen: Digitalisaation kognitiiviset vaikutukset lukion fysiikan ja matematiikan opetuksessa

Toni Mikkonen

30.3.2021

Ohjaaja(t): prof. Ismo Koponen

Tarkastaja(t): Ari Hämäläinen
prof. Ismo Koponen



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Koulutusohjelma — Utbildningsprogram — Degree programme	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Mat., fys., ja kem. opettajan maisteriohjelma Fysiikan opettajan linja	
Tekijä — Författare — Author			
Toni Mikkonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Viisi sääntöä sähköistämiseen: Digitalisaation kognitiiviset vaikutukset lukion fysiikan ja matematiikan opetuksessa			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidantal — Number of pages
Pro gradu -tutkielma		30.3.2021	85
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Tutkielman tarkoituksena on arvioida tietotekniikan käytön kognitiivisia vaikutuksia lukion fysiikan ja matematiikan opetuksessa. Tutkielma on pääasiallisesti kirjallisuuskatsaus, mutta siihen sisältyy myös haastatteluaineiston analyysi.</p> <p>Kirjallisuusosiossa selvitämme, millaisia toimenpiteitä Suomessa on lukiokoulutuksen digitalisaation suhteen tehty, ja pyrimme muodostamaan kokonaiskuvan digitalisaation nykytilasta. Lisäksi perehdymme tietotekniikan opetuskäyttöä käsittelevään kognitiivisen psykologian tutkimukseen. Määrittelemme oppimisen kognitiivisena prosessina ja käsittelemme tunnetilojen, motivaatiotekijöiden ja psykologisten perustarpeiden merkitystä sen kannalta. Seuraavaksi käymme läpi tutkimustietoa hakukoneiden, sähköisten tekstilajien, sähköisten oppimisympäristöjen ja symbolisen laskennan vaikutuksista muistin, luetunymmärtämisen, ongelmanratkaisun ja keskittymiskyvyn kaltaisiin kognitiivisiin toimintoihin. Myös tietotekniikan käytön sekä fysiikan ja matematiikan oppimistulosten välinen suhde on tutkielman kannalta keskeinen näkökulma.</p> <p>Kokeellisessa osiossa analysoimme tietotekniikan opetuskäyttöä koskevaa haastatteluaineistoa kirjallisuusosiossa käsiteltyjen havaintojen perusteella. Haastatteluaineisto koostuu viiden suomalaisen lukiossa työskentelevän fysiikan ja matematiikan opettajan haastattelujen yleiskielisistä litteroinneista. Analyysin tavoitteena on avata tutkimuskirjallisuudesta näkökantoja reaalimaailman luokahuoneisiin. Lisäksi kuulemme opettajien subjektiivisia näkemyksiä digiloikan toteuttamisesta, onnistumisesta ja tulevaisuuden visioista.</p> <p>Tiivistämme tutkimuskirjallisuuden ja haastatteluaineiston pohjalta tekemämme havainnot viideksi nyrkkisäännöksi, joiden tavoitteena on tuoda tietotekniikasta opetustilanteisiin mahdollisimman paljon lisäarvoa hilliten samalla sen haittavaikutuksia. Säännöissä korostuu erityisesti sähköisten oppimateriaalien ja oppimisympäristöjen oikeaoppinen suunnittelu sekä niiden luokkahuonekäyttö. Nämä viisi sääntöä määrittelemme seuraavasti: 1. tuetaan opiskelijan itsesääätelyä, 2. luodaan valinnanvapauden illuusio, 3. rakennetaan osaamista jo perusasteella, 4. rajataan tietotekniikalle apuvälineen rooli, ja 5. vältetään digitalisaation pitämistä itseisarvona.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
digitalisaatio, tietotekniikka, oppiminen, kirjallisuuskatsaus, tapaustutkimus, kognitiivinen psykologia			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	2
2	Tietotekniikka lukiokoulutuksessa	5
2.1	Koulutuksen digiloikka	5
2.1.1	Koulutuspolitiikka ja uudistukset 2003–2020	5
2.1.2	Varustelutaso ja täydennyskoulutukset	7
2.2	Muuttuva opetussisältö	9
2.2.1	Opetussuunnitelmauudistus 2015	11
2.2.2	Opetussuunnitelmauudistus 2019 ja tulevaisuus	13
2.3	Sähköinen ylioppilaskoe	14
2.4	Oppimistulosten mysteeri	18
2.4.1	Standardisoidut tutkimukset	19
2.4.2	Kansalliset arvioinnit ja pisterajat	21
2.4.3	Oppimistulosten suunta	23
3	Tietotekniikka ja kognitio	25
3.1	Itsesäätelevä oppija	25
3.1.1	Oppiminen kognitiivisena prosessina	25
3.1.2	Metakognitio ja metakognitiiviset tuet	27
3.2	Motivaatiotekijöiden merkitys	29
3.2.1	Oppiminen ja tunnetilat	29
3.2.2	Psykologiset perustarpeet	32
3.3	Sähköisen tiedonhaku ja kognitio	35
3.3.1	Aivojen neuroplastisuus	35
3.3.2	Tietotekniikka ja muisti	36
3.3.3	Sähköisten tekstilajien vaikutus	38
3.4	Digitaalinen ongelmanratkaisija	41
3.4.1	Symbolinen laskenta: perustaitojen ulkoistamista?	41
3.4.2	Tietokoneohjelma tuutorina	43

4	Opettajien näkemyksiä	46
4.1	Aineisto ja tutkimusmenetelmät	46
4.2	Tutkimuksen rajoitteet	47
4.3	Havaintoja aineistosta	48
4.3.1	Tietotekniikka on erottamaton osa opetusta	48
4.3.2	Tietotekniikan omaksuminen edellyttää aktiivisuutta	50
4.3.3	Opiskelijoiden tietotekniikan omaksuminen pääpiirteittäin hyvää, eroja taitotasossa ja suhtautumisessa	52
4.3.4	Tietotekniikkaa ei pidetä syyllisenä keskittymisongelmiin	53
4.3.5	Erilaisia ohjelmistoja hyödynnetään monipuolisesti	54
4.3.6	Laskentaohjelmistoissa huolettavat liikakäyttö ja käytettävyys . . .	56
4.3.7	Matemaattisten perustaitojen koetaan heikentyneen	58
4.3.8	Ylioppilaskokeen koetaan muuttuneen aineistopainotteisemmaksi, vaikeustaso hakee yhä tasapainoa	61
4.3.9	Matematiikan kokeen jako kerää opettajilta kiitosta	63
4.3.10	Tietotekniikassa nähdään käytännöllisiä hyötyjä, terveydelliset vai- kutukset puhuttavat	64
4.3.11	Paluuta vanhaan ei pidetä realistisena	66
4.3.12	Tulevaisuuden visioita: opettajat mukaan keskusteluun	68
5	Johtopäätökset	71
6	Loppusanat	76
	Viitteet	78
	Liite A Haastattelukysymykset	84

1. Johdanto

Tietotekniikan yleistymisellä on ollut kiistaton ja valtava vaikutus maailmaamme. Työpaikkojen, toimialojen ja kokonaisten yhteiskuntien päivittäinen toiminta riippuu teknologioista, jotka puoli vuosisataa sitten vaikuttivat tieteisfiktioilta. Sähköiset järjestelmät valvovat tehtaiden tuotantolinjoja, ylläpitävät osakemarkkinoita ja laskevat sekunneissa laskutoimituksia, joiden manuaaliseen suorittamiseen kuluisi vuosikausia. Ne yhdistävät 54 % maailman väestöstä – nopeasti kasvavan osuuden – lähes välittömän kommunikation mahdollistavaan maailmanlaajuiseen tietoverkkoon (Kansainvälinen televiestintäliitto, s.a.). Kaikki tämä on toteutunut vain joidenkin vuosikymmenten aikana.

Muutoksen nopeus ja perustavanlaatuisuus on saanut osan kirjoittajista käyttämään käsitettä *digitaalinen vallankumous* (Bojanova, 2014). Näin nykytilanne pyritään rinnastamaan teolliseen vallankumoukseen, joka 1800-luvun vaihteessa niin ikään mullisti yhteiskunnan tuotantomenetelmät. Analogian sopivuutta sen tarkemmin käsittelemättä on selvää, että molemmilla vallankumouksilla oli samankaltainen vaikutus työelämään: samalla kun uusia työtehtäviä ja ammattikuntia syntyi, jäi vanhojen osaksi joko sopeutua vallitsevaan tilanteeseen tai kadota. Nykymaailmassa sopeuttamiskeinona käytetään koulutusta. Säilyttääkseen kilpailukykyä muuttuvassa maailmassa syntyy yhteiskunnissa poliittinen paine juuri koulutuksen uudistamiseen: sen tulee antaa tulevaisuuden työntekijöille valmiudet hallita uusia teknologioita. Suomessa tämä on luonnollisesti näkynyt pyrkimyksenä koulutuksen digitalisaatioon.

Digitalisaatio määritellään usein tietoteknisten apuvälineiden yleistymiseksi arkielämän toiminnoissa. 2010-luvulta lähtien sana on ollut kasvavassa käytössä Suomen hallitusten periaateohjelmissa, ja siihen tähtääviä toimenpiteitä on toteutettu sekä valtiojohtoisesti että yksityisellä sektorilla. Koulutuksessa muutos on painottunut korkeammille koulutusasteille niin, että tieto- ja viestintätekniikan opetuskäyttö on suurinta korkeasteella ja vähäisintä varhaiskasvatuksessa: tässä suhteessa toisen asteen koulutus on sijoittunut korkea-asteen ja perusasteen väliin (OAJ, 2016). Lukiokoulutuksessa kaikista ilmeisin muutos on ollut ylioppilaskokeiden porrastettu sähköistäminen, joka aloitettiin syksyllä 2016 ja saatiin päätökseen keväällä 2019, jolloin kaikkien aineiden kokeet järjestettiin sähköisinä (Ylioppilastutkintolautakunta, 2019).

Miten lukioden arki on muuttunut digitalisaatiotoimenpiteiden seurauksena? Yli-

oppilaskokeiden sähköistyminen on luonut tarpeen lukiolaisten perehdyttämiselle niissä sallittujen ohjelmistojen käyttöön, mikä on palauteilmiön lailla kasvattanut tietotekniikan opetuskäyttöä entisestään. Tämä on korostunut erityisesti matemaattisissa aineissa erilaisten symbolisen laskennan ohjelmistojen käyttönä. Opetusalan ammattijärjestö OAJ:n syksyllä 2015 toteuttaman kyselytutkimuksen mukaan tieto- ja viestintätekniikka oli päivittäisessä käytössä lähes puolessa lukioista, kun taas vähintään viikoittain tieto- ja viestintätekniikkaa käytettiin noin 80 %:ssa lukioista (OAJ, 2016). Ylioppilaskokeiden sähköistyttyä tekniikan opetuskäyttö on entisestään kasvanut (OAJ, 2019). Sähköisten oppimisalustojen, e-kirjojen, älytaulujen ja ylioppilaskokeissa sallittujen ohjelmistojen käytöstä on tullut monen lukiolaisen arkipäivää.

Kuten edellä todettiin, tietotekniikan nousu koulutuksessa – *digiloikka* – on tapahtunut erityisesti reaktiona työelämän tarpeisiin. Muutosta on kuitenkin tarpeellista tarkastella myös puhtaasti koulutuksen näkökulmasta, ja tietotekniikan vaikutuksia opetukseen ja oppimiseen käsittelevälle kognitiivisen psykologian tutkimukselle on kasvava tarve. Kuten myöhemmin toteamme, juuri matemaattiset aineet muodostavat tämän muutoksen eturintaman. Tämä tutkielma keskittyy tietotekniikan käytön kognitiivisiin vaikutuksiin lukion fysiikan ja matematiikan opetuksessa, ja asetamme sille kolme tavoitetta:

1. selvittää, millaisia toimenpiteitä Suomessa on tehty koulutuksen digitalisaation suhteen ja miten ne ovat näkyneet opetuksessa,
2. luoda tutkimuskirjallisuuden pohjalta yleiskatsaus digitalisaation kognitiivisista vaikutuksista opetuksessa ja oppimisessa, sekä
3. tarkastella tapaustutkimuksena suomalaisten fysiikan ja matematiikan opettajien näkemyksiä digitalisaation hyödyistä ja ongelmista, ja tuoda näin tutkielmaan kosketuspinta reaalimaailmaan.

Ensimmäistä kohtaa käsittelemme luvussa 2, jonka tarkoitus on toimia suomalaisen lukiokoulutuksen digitalisaation historiakatsauksena. Tarkastelemme lukiokoulutuksessa toteutettuja digitalisaatiotoimenpiteitä ja perehdymme digitalisaation nykytilaan aiheutta käsitteleviä julkaisuja hyödyntäen. Lisäksi pohdimme Suomessa ja maailmalla havaittuja trendejä fysiikan ja matematiikan oppimistuloksissa. Arvioimme myös trendeihin johtaneita syitä, kuten mahdollista yhteyttä tietotekniikan käyttöön.

Toiselle kohdalle on omistettu luku 3, jossa pyrimme kokoamaan yhteen tietotekniikan kognitiivisiin vaikutuksiin liittyvää tutkimusta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta. Pohdimme oppimisen luonnetta kognitiivisena prosessina, oppimista edistäviä tekijöitä ja metakognitiivisten taitojen hallitsemisen merkitystä. Erityistä huomiota kiinnitämme tietotekniikan muistiin, keskittymiskykyyn ja ongelmanratkaisutaitoon liittyviin

vaikutuksiin sekä niiden hallitsemiseen erilaisilla tukirakenteilla. Käsitlemme myös tietotekniikan uudempia opetuskäyttöön liittyviä sovelluksia, kuten kognitiivisesti reagoivia automaattisia tuutorointiohjelmia.

Kolmatta kohtaa käsitlemme luvussa 4, jota varten haastateltiin tapaustutkimuksena viisi suomalaislukioissa työskentelevää fysiikan ja matematiikan opettajaa. Tarkoituksenamme on kartoittaa opettajien näkemyksiä digitalisaatioon liittyvistä mahdollisuuksista ja haasteita sekä analysoida haastatteluaineistoa aiemmissa luvuissa kootun tutkimustiedon pohjalta. Pyrimme muodostamaan yleiskuvan siitä, kuinka digitalisaatio on käytännön opetustyössä pyritty valjastamaan edistämään oppimista. Käsitlemme myös opettajien henkilökohtaisia ehdotuksia digiloikan tulevaisuudesta.

Edeltävissä kolmessa luvussa käsitellyt aiheet pyritään kokoamaan yhteen luvussa 5, joka toimii aihetta kokonaisvaltaisesti käsittelevänä katsauksena. Tavoitteenamme on tiivistää keskeisimmät havaintomme viideksi säännöksi, jotka käsittelevät sähköisten opimateriaalien suunnittelua, digitalisaation ilmenemistä opetussuunnitelmassa sekä tietotekniikan luokkahuonekäyttöä. Tiedostamme kuitenkin kognitiivisen psykologian ja kasvatustieteen näkökulman edustavan vain yhtä mahdollista katsontakantaa muiden joukossa. Luvussa 6 päätämme tutkielman loppusanoihin.

2. Tietotekniikka lukiokoulutuksessa

2.1 Koulutuksen digiloikka

2.1.1 Koulutuspolitiikka ja uudistukset 2003–2020

Ensimmäiset askeleet suomalaisen koulutuslaitoksen digitalisoimiseksi otettiin vuosituhannen alussa. Vuoden 2003 hallitusohjelmassa mainittiin lyhyesti tavoitteena lukioiden verkko-opetuksen laajentaminen sekä etälukiotoiminnan turvaaminen (Valtioneuvoston kanslia, 2003). Tässä suhteessa vuonna 2003 julkaistu lukion uudistettu opetussuunnitelma, joka tuli voimaan syyslukukaudella 2005, oli suhteellisen vaatimaton: opetussuunnitelmassa esiintyvät tieto- ja viestintätekniikkaan liittyvät opetustavoitteet keskittyivät lähinnä verkkoetiikkaan ja verkosta löytyvien lähdetekstien tulkintaan (Opetushallitus, 2003). Vuoden 2007 hallitusohjelmassa koulutuksen digitalisaatiota käsiteltiin yhdellä lauseella, joka oli kirjaus verkko-opetuksen kehittämisestä ja tietoyhteiskuntahankkeiden tukemisesta (Valtioneuvoston kanslia, 2007).

Vuoden 2011 hallitusohjelmassa esiintyi jo enemmän konkretiaa. Se sisälsi kirjauksen tieto- ja viestintätekniikan käytön vahvistamisesta koulutuksessa. Lisäksi ohjelmaan oli kirjattu erillinen tavoite ylioppilaskirjoitusten asteittaisen sähköistämisen valmistelusta lukion tuntijaon uudistamisen rinnalla (Valtioneuvoston kanslia, 2011). Vuonna 2015 uudistettu lukion opetussuunnitelma, joka tuli voimaan syyslukukaudella 2016, olikin jo huomattavasti vuoden 2003 opetussuunnitelmaa kunnianhimoisempi. Sen mukaan opiskelijoita tuli ohjata ”hyödyntämään digitaalisia opiskeluympäristöjä, oppimateriaaleja ja työvälineitä eri muodossa esitetyn informaation hankintaan ja arviointiin sekä uuden tiedon tuottamiseen ja jakamiseen”. Tässä opetussuunnitelmassa sähköisiin apuvälineisiin liittyviä oppimistavoitteita kirjattiin lähes jokaisen aineen kohdalle. Matematiikassa kehoitettiin hyödyntämään symbolisen laskennan ohjelmistoja, kun taas fysiikassa tieto- ja viestintäteknologia teki debyyttinsä kokeellisuudessa, mallintamisessa ja tulosten esittämisessä (Opetushallitus, 2015).

Ylioppilastutkintolautakunta julkaisi tammikuussa 2015 Abitti-järjestelmän, jonka tarkoituksena oli toimia sähköisten ylioppilaskokeiden koejärjestelmänä. Ensimmäiset varsinaiset sähköiset kokeet järjestettiin syksyllä 2016, jolloin saksan, maantieteen ja fi-

losofian ylioppilaskokeet tehtiin tietokoneella. Tämän jälkeen muut kokeet sähköistettiin asteittaisesti niin, että joka koekerralla suurempi osuus aineista toteutettiin sähköisesti. Keväällä 2017 sähköistettiin ranskan, yhteiskuntaopin ja psykologian kokeet; syksyllä 2017 toisen kotimaisen kielen, uskonnon, elämäntutkimustiedon, terveystiedon ja historian kokeet; keväällä 2018 englannin ja biologian kokeet sekä useita muita kielikokeita; syksyllä 2018 äidinkielen, fysiikan ja kemian kokeet sekä lisää kielikokeita. Viimeinen perinteinen paperikoe oli matematiikan koe, joka sähköistettiin keväällä 2019. (Studentum, s.a.; Opetus- ja kulttuuriministeriö, 2019).

Vuoden 2015 hallitusohjelmassa koulutuksen digitalisaatioon liittyen mainittiin erikseen sähköisten oppimisympäristöjen käyttöönotto (Valtioneuvoston kanslia, 2015), ja vuoden 2019 laki ylioppilastutkinnosta sisälsi erikseen maininnan sähköisistä ylioppilaskokeista (Finlex, s.a.). Viimeisten kokeiden sähköistyttyä Ylioppilastutkintolautakunta on keskittynyt lähinnä digitaalisten koejärjestelmien ylläpitoon ja kehittämiseen. Eräänä mahdollisina tulevaisuuden uudistuksena on mainittu tiedonhaun ja haetun tiedon käytön laajentaminen, mikä voisi tarkoittaa suurempia kokeissa käytettävissä olevia sähköisiä aineistoja. Toinen mahdollisuus on tehtävien automaattisen tarkastamisen (jota käytetään jo nyt monivalintatehtävissä) laajempi hyödyntäminen (Ylioppilastutkintolautakunta, 2019). Yleisesti ottaen lukiokoulutuksen digitalisaation suurin murrosvaihe vaikuttaa kuitenkin päättyneen, ja lukioissa eletään nyt digitalisaation jälkeistä aikakautta. Käsitellessämme digitalisaation vaikutusta esimerkiksi oppimistuloksiin keskitymme aineistoon murrosvaiheesta, jonka ajoitamme noin vuosille 2005–2020.

Huomionarvoista on, että juuri matemaattisten aineiden (matematiikka, fysiikka ja kemia) kokeiden sähköistyminen ajoittui murrosvaiheen loppuun. Tietoteknisten apuvälineiden käyttö herättää matemaattisissa aineissa muita aineita merkittävämpiä opetussellisia kysymyksiä. Esimerkiksi suurin osa ylioppilaskokeissa sallituista ohjelmistosta on tarkoitettu yksinomaan matemaattisten aineiden kokeisiin (Ylioppilastutkintolautakunta, s.a.-a). Pohditaan hetki vaikkapa äidinkieltä tai historiaa oppiaineena. Tietotekniset apuvälineet, kuten sähköiset oppimateriaalit, toki näkyvät näiden oppiaineiden opetustilanteissa, ja niiden olemassaolo luo tarpeen opettaa esimerkiksi verkkoetiikkaa ja tiedonhaun kua. Äidinkielen ja historian sähköisten kokeiden suurin ero vanhaan on kuitenkin se, että vastaukset kirjoitetaan paperin sijasta täytettäviin tekstikenttiin. Runoanalyysissä tarvittavat taidot eivät muutu ratkaisevasti siksi, että analyysitehtävien aineisto annetaan paperinipun sijasta liitetiedostoina. Tietoa Rooman valtakunnan romahduksen syistä ei voi ulkoistaa tietokoneohjelmistolle – ainakaan koetilanteessa.

Matemaattisissa aineissa puolestaan kysymykset opetettavan sisällön mielekkyydestä rehottavat. Missä suhteessa opiskelijalle tulee opettaa laskujen käsin ratkaisemisen kaltaisia matemaattisia perustaitoja ja missä suhteessa syvällisempien kokonaisuuksien ymmärtämistä? Vaikuttaako edellä mainitun taidon puutteellisuus negatiivisesti myös

jälkimmäiseen taitoon? Kuuluuko sähköisen aineiston data-analyysi fysiikan opetuksen piiriin? *Voiko opiskelija ratkaista Kirchhoffin lakeihin liittyvän yhtälöryhmän tietokoneavusteisesti, vai tulisiko se osata ratkaista käsin?* On selvää, että matemaattiset aineet ovat koulutuksen digiloikan eturintamaa, ja että päättäjien tekemät digitalisaatioon liittyvät valinnat näkyvät erityisesti juuri niissä.

2.1.2 Varustelutaso ja täydennyskoulutukset

Väitteemme siitä, että lukioissa eletään digitalisaation jälkeistä aikaa saa tukea erilaisista kyselytutkimuksista. Opetusalan ammattijärjestö OAJ toteutti syksyllä 2015 ja 2018 kyselytutkimukset, joissa kartoitettiin digitalisaation edistymistä eri koulutusasteilla. Tutkimusten tuloksia vertailemalla voidaan todeta, että lukioiden tietotekninen varustelutaso parani lähes kaikilla osa-alueilla aikana, jolloin ylioppilastutkinnon sähköistämistä toteutettiin, siis digitalisaation murrosvaiheen 2005–2020 lopulla.

Työnantajan tarjoama digilaitte, käytännössä kannettava tietokone tai taulutietokone, oli syksyllä 2015 käytössä noin 75 %:lla lukion opettajista; syksyllä 2018 luku oli noussut 90 %:iin (OAJ, 2016, 2019). Mikäli huomioidaan myös itse hankittua laitetta käyttävät opettajat, on todennäköistä, että digilaitteita käyttävät työssään lukion opettajista lähes kaikki. Muutos ei ole yllättävä, sillä ylioppilastutkinnon sähköistyttyä kannettavasta tietokoneesta on tullut opiskelijalle välttämättömyys (Opetushallitus, 2018). Perehdyttääkseen opiskelijat mahdollisimman hyvin ylioppilaskokeissa sallittujen ohjelmistojen käyttöön lukioille on muodostunut tarve varustaa myös opettajat kannettavilla tietokoneilla tai muilla älylaitteilla.

Digilaitteiden yleistyessä myös sähköisten oppimateriaalien käyttö on yleistynyt. Syksyllä 2015 kaupallisia sähköisiä oppimateriaaleja käytti opetuksessaan 49 % lukion opettajista; syksyllä 2018 vastaava luku oli 65 %. Lisäksi lukioissa oli yleistynyt digitaalisten oppimisympäristöjen (kuten Fronterin ja Moodlen) käyttö, ja syksyllä 2018 niitä käytti 40 % lukion opettajista. Vaikka kaupallisten sähköisten oppimateriaalien käyttö oli yleistynyt, koettiin ne silti muihin ohjelmistoihin verrattuna melko hankalakäyttöisiksi, ja enemmän vaikeuksia esiintyi vain henkilöstöhallinnon järjestelmien kanssa (OAJ, 2016, 2019). Älytaulu oli syksyllä 2015 käytössä 44 %:lla lukion opettajista. Niiden yleisyyttä ei kartoitettu syksyn 2018 kyselytutkimuksessa (OAJ, 2016).

Myös opiskelijoille suunnatut kyselyt ovat tuottaneet samankaltaisia tuloksia. Vuoden 2019 lukiolaisbarometrissa 81 % lukiolaisista oli samaa mieltä väittämän ”opetuksessa hyödynnetään sujuvasti digitaalisia laitteita” kanssa (eri mieltä oli vain 4 %). Lisäksi 73 % lukiolaisista yhtyi väittämään ”lukiossani tuetaan nykyaikaisten taitojen oppimista” (eri mieltä oli 5 %). Sähköisiä oppimisalustoja käytti vähintään viikoittain 56 % lukiolaisista ja e-kirjoja 32 %. (38 % lukiolaisista ilmoitti, että ei koskaan käytä e-kirjoja, mikä

vastaa opettajille suunnatun OAJ:n kyselytutkimuksen tuloksia.) Vaikka sähköisissä ylioppilaskirjoituksissa sallittuja ohjelmistoja käytti lukiolaisista viikoittain vain 10 %, nousi luku 70 %:iin tarkasteltaessa vähintään kuukausittain ohjelmistoja käyttäviä opiskelijoita (Lukiolaisbarometri, 2019).

Tarkastellaan vielä toista esimerkkiä opiskelijatutkimuksesta. Suomen Lukiolaisten Liitto toteutti vuonna 2013 kyselytutkimuksen, jossa kartoitettiin opiskelijoiden tietotekniikan käyttöä. Tutkimuksessa vähintään viikoittain tietotekniikkaa ilmoitti koulussa opetuskäyttöön käyttävänsä 57 % opiskelijoista, ja sähköisiä oppimateriaaleja tai opetusohjelmia 52 %. (Ollenkaan sähköisiä oppimateriaaleja ei koulussa käyttänyt vain 2 %). 73 % opiskelijoista ilmoitti saavansa käyttää omia laitteitaan vapaasti ainakaan joillain oppitunneilla, milloinkaan laitteita ei saanut käyttää 14 %. Merkittävästi mielipiteitä kyselyssä jakoi opettajien kyky ohjata opiskelijoita käyttämään sähköisiä oppimateriaaleja. Asiasta kysyttäessä opettajien kykyyn luotti vain 30 % opiskelijoista. Eriävän mielipiteen asiassa esitti 37 %. (Mikkilä, 2013).

Kansainvälisissä vertailuissa suomalaislukioden tietoteknistä varustelutasoa on pidetty korkeana. European Schoolnet toteutti vuonna 2012 tutkimuksen, jossa suomalaisten oppilaitosten (peruskoulujen ja lukioden) varustelutaso arvioitiin yhdeksi Euroopan korkeimmista. Sähköisiä oppimisympäristöjä oli käytettävissä jopa 95 %:ssa suomalaislukioista Euroopan unionin keskiarvon ollessa 61 %. Myös tietotekniikan todellista opetuskäyttöä tarkasteltaessa sijoittuivat suomalaiset lukio-opettajat Euroopan unionin keskiarvon yläpuolelle. (Opiskelijoiden tietotekniikan käytössä Suomi kuitenkin alitti unionin keskiarvon. On kuitenkin todettava, että tutkimus toteutettiin kokonaisuudessaan ennen ylioppilaskirjoitusten sähköistämistä) (Survey of Schools, 2012).

On siis selvää, että tietotekniikasta on tullut lukiokoulutuksen arkipäivää. Tämän takia kiinnostavaksi kysymykseksi muodostuu, onko opettajat perehdytetty asianmukaisesti uuden tekniikan käyttöön. Palataan OAJ:n toteuttamiin kyselytutkimuksiin. Syksyllä 2015 yli 95 % lukion opettajista oli saanut viimeisen viiden vuoden aikana tietojen ja viestintätekniikkaan liittyvää täydennyskoulutusta. Noin 60 %:lla opettajista saadun koulutuksen pituus oli enemmän kuin yhden työpäivän verran, ja tutkimuksen mukaan saatu koulutus oli painottunut erityisesti sähköisiin ylioppilaskokeisiin liittyvien ohjelmistojen käyttöön. Lähes 60 % opettajista piti kuitenkin saamansa täydennyskoulutuksen määrää riittämättömänä, ja lähes kaksi kolmasosaa opettajista koki tarvitsevansa lisää koulutusta sähköisten ylioppilaskirjoitusten toimeenpanoon (OAJ, 2016).

Myös alueelliset erot lukioden varustelutasossa ja tietotekniikan käyttömahdollisuuksissa ovat herättäneet ajoittaista huolta. Kankaanranta et al. tarkastelevat vuonna 2011 julkaistussa tutkimuksessa peruskoulujen ja lukioden tietoteknisiä valmiuksia. Tutkimuksessa pääkaupunkiseutu erottui edukseen muusta Suomesta usealla eri osa-alueella, joihin kuuluvat muun muassa opetustavoitteet, varustelutaso, ja opettajien valmiudet.

Tutkimuksessa lukioden varustelutaso arvioitiin kuitenkin yleisesti peruskoulujen varustelutasoa paremmaksi (Kankaanranta, 2011). Myös tämä tutkimus toteutettiin kokonaisuudessaan ennen ylioppilaskirjoitusten sähköistämistä.

Pääkaupunkiseudulla tietotekniikkaa pidettiin opetuksellisesti tärkeimpänä, sisällytettiin useiten opetustavoitteisiin sekä integroitiin laajimmin osaksi opetusta. Tietoteknisten laitteiden saatavuus oli pääkaupunkiseudulla parasta, ja osoittautui heikoimmaksi Itä-Suomessa. Pääkaupunkiseudun oppilaitoksista digitaalisia oppimateriaaleja hyödynnettiin 84 %:ssa, ja opettajia kannustettiin tuottamaan omia digitaalisia materiaaleja 73 %:ssa. (Koko maan keskiarvot olivat 73 % ja 42 %). Pedagogisten tavoitteiden toteutumista rajoittavista tekijöistä opettajien puutteelliset tietotekniset taidot koki pääkaupunkiseudulla ongelmaksi 44 % vastaajista koko maan keskiarvon ollessa 50 %. Tietoteknisten välineiden riittämättömyyden puolestaan koko pääkaupunkiseudulla ongelmaksi vain 28 % vastaajista koko maan keskiarvon ollessa 47 % (Kankaanranta, 2011).

2.2 Muuttuva opetussisältö

Digitalisaatio ei ole ollut ainoa fysiikan ja matematiikan opetuksessa viime vuosikymmeninä tapahtunut muutos, vaan myös oppiaineiden opintosisältöä on muutettu, järjestelty uudelleen ja joissain tapauksissa karsittu. Opetus- ja kulttuuriministeriön vuonna 2019 julkaiseman selvityksen mukaan lukion opetussisältöjä ja opiskelijoihin kohdistuvia vaatimuksia on 2000-luvun aikana kevennetty erityisesti matemaattisissa aineissa, äidinkielessä ja insinööriopinnoissa (Opetus- ja kulttuuriministeriö, 2019). Digitalisaation mahdollisia vaikutuksia oppimistuloksiin tulisikin arvioida tässä kontekstissa. Tässä luvussa tarkastelemme vuosien 2003, 2015 ja 2019 opetussuunnitelmia. Lähtökohtamme, vuoden 2003 opetussuunnitelma, astui voimaan syksyllä 2005. Se siis sijoittuu määrittämämme digitalisaation murrosvaiheen alkuun. Myöhemmin sen korvasi nykyinen, vuoden 2015 opetussuunnitelma, joka astui voimaan syksyllä 2016. Vuoden 2019 opetussuunnitelman on tarkoitus korvata nykyinen opetussuunnitelma syksyllä 2021. Fysiikan ja matematiikan opetuksen järjestely eri opetussuunnitelmissa nähdään taulukoista 2.1, 2.2 ja 2.3.

Kurssi	Fysiikka	Matematiikka, pitkä	Matematiikka, lyhyt
1.	<u>Fysiikka luonnontieteenä</u>	<u>Funktiot ja yhtälöt</u>	<u>Lausekkeet ja yhtälöt</u>
2.	Lämpö	<u>Polynomifunktiot</u>	<u>Geometria</u>
3.	Aallot	<u>Geometria</u>	<u>Matemaattisia malleja I</u>
4.	Liikkeen lait	<u>Analyttinen geometria</u>	<u>Matemaattinen analyysi</u>
5.	Pyöriminen ja gravitaatio	<u>Vektorit</u>	<u>Tilastot ja todennäköisyys</u>
6.	Sähkö	<u>Todennäköisyys ja tilastot</u>	<u>Matemaattisia malleja II</u>
7.	Sähkömagnetismi	<u>Derivaatta</u>	Talousmatematiikka
8.	Aine ja säteily	<u>Juuri- ja logaritmifunktiot</u>	Matemaattisia malleja III
9.		<u>Trigonometriset funktiot ja lukujonot</u>	
10.		<u>Integraalilaskenta</u>	
11.		Lukuteoria ja logiikka	
12.		Numeerisia ja algebrallisia menetelmiä	
13.		Differentiaali- ja integraalilaskennan jatkokurssi	

Kuva 2.1: Vuoden 2003 kurssijako. Pakolliset opinnot on alleviivattu. (Opetushallitus, 2003)

Kurssi	Fysiikka	Matematiikka, pitkä	Matematiikka, lyhyt
1.	<u>Fysiikka luonnontieteenä</u>	<u>Luvut ja lukujonot</u>	
2.	Lämpö	<u>Polynomifunktiot ja yhtälöt</u>	<u>Lausekkeet ja yhtälöt</u>
3.	Sähkö	<u>Geometria</u>	<u>Geometria</u>
4.	Voima ja liike	<u>Vektorit</u>	<u>Matemaattisia malleja</u>
5.	Jaksollinen liike ja aallot	<u>Analyttinen geometria</u>	<u>Tilastot ja todennäköisyys</u>
6.	Sähkömagnetismi	<u>Derivaatta</u>	<u>Talousmatematiikka</u>
7.	Aine ja säteily	<u>Trigonometriset funktiot</u>	Matemaattinen analyysi
8.		<u>Juuri- ja logaritmifunktiot</u>	Tilastot ja todennäköisyys II
9.		<u>Integraalilaskenta</u>	
10.		<u>Todennäköisyys ja tilastot</u>	
11.		Lukuteoria ja todistaminen	
12.		Algoritmit matematiikassa	
13.		Differentiaali- ja integraalilaskennan jatkokurssi	

Kuva 2.2: Vuoden 2015 kurssijako. Pakolliset opinnot on alleviivattu. (Opetushallitus, 2015)

Mod.	Fysiikka	Matematiikka, pitkä	Matematiikka, lyhyt
1.	1 <u>Fysiikka luonnontieteenä</u>	2 <u>Luvut ja lukujonot</u>	
2.	1 <u>Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta</u>	3 <u>Funktiot ja yhtälöt 1</u>	2 <u>Lausekkeet ja yhtälöt</u>
3.	2 <u>Energia ja lämpö</u>	2 <u>Geometria</u>	2 <u>Geometria</u>
4.	2 <u>Voima ja liike</u>	3 <u>Analyttinen geometria ja vektorit</u>	2 <u>Matemaattisia malleja</u>
5.	2 <u>Jaksollinen liike ja aallot</u>	2 <u>Funktiot ja yhtälöt 2</u>	2 <u>Tilastot ja todennäköisyys</u>
6.	2 <u>Sähkö</u>	3 <u>Derivaatta</u>	1 <u>Talousmatematiikan alkeet</u>
7.	2 <u>Sähkömagnetismi</u>	2 <u>Integraalilaskenta</u>	1 <u>Talousmatematiikka</u>
8.	2 <u>Aine, säteily ja kvantittuminen</u>	2 <u>Tilastot ja todennäköisyys</u>	2 <u>Matemaattinen analyysi</u>
9.		1 <u>Talousmatematiikka</u>	2 <u>Tilastolliset ja todennäköisyysjakaumat</u>
10.		2 <u>3D-geometria</u>	
11.		2 <u>Algoritmit ja lukuteoria</u>	
12.		2 <u>Analyysi ja jatkuva jakauma</u>	

Kuva 2.3: Vuoden 2019 kurssijako. Pakolliset opinnot on alleviivattu. Pienet luvut ilmaisevat moduulien opintopistemäärän. (Opetushallitus, 2019)

2.2.1 Opetussuunnitelmauudistus 2015

Vuoden 2003 opetussuunnitelma uudistettiin vuonna 2015. Muutokset lukio-opintojen perusrakenteeseen eivät olleet radikaaleja, ja molemmissa opetussuunnitelmissa opetus jäseneltiin keskimäärin 38 tuntia kestäviksi kursseiksi. Näistä osa on opiskelijoille pakollisia ja osa vapaaehtoisia valtakunnallisia syventäviä kursseja. Lisäksi ylioppilastutkinnon laajuus on molemmissa opetussuunnitelmissa 75 kurssia. Matemaattisissa aineissa eroavaisuuksia esiintyi erityisesti fysiikassa ja lyhyessä matematiikassa. Fysiikan opetussisältöjä vähennettiin, sillä uudessa opetussuunnitelmassa oli yksi fysiikan kurssi vähemmän. Lyhyessä matematiikassa puolestaan osa vanhoista opetussisällöistä korvattiin uusilla, erilaisilla sisällöillä. Merkittävä eroavaisuus vanhaan opetussuunnitelmaan oli myös matematiikan yhteisen opintokokonaisuuden käyttöönotto (Opetushallitus, 2003, 2015).

Siinä missä vuoden 2003 opetussuunnitelma sisälsi 1 pakollisen ja 7 valtakunnallista syventävää fysiikan kurssia, on nykyisessä opetussuunnitelmassa yksi syventävä kurssi vähemmän. Tämä johtuu siitä, että vanha FY3-kurssi (Aallot) yhdistettiin FY5-kurssin (Pyöräminen ja gravitaatio) kanssa. Samalla opetussisältöä karsittiin jonkin verran, ja esimerkiksi pyörimisliike, pyörimismäärän säilyminen, peilit ja linssit sekä vaihtovirtapiirit

poistettiin opetussuunnitelmasta. Opetussisältöä myös järjesteltiin jonkin verran uudelleen. Vanhaan FY5-kurssiin kuuluneet momentti ja tasapaino pyörimisen suhteen yhdistettiin osaksi mekaniikkaa käsittelevää FY4-kurssia. Lisäksi sähköopin kurssia aikaistettiin kuudennesta kurssista kolmanneksi kurssiksi (Opetushallitus, 2015).

Matematiikassa ilmeisin poikkeavuus vanhasta opetussuunnitelmasta oli matematiikan yhteisen opintokokonaisuuden eli MAY1-kurssin (Luvut ja lukujonot) käyttöönotto. Molempien matematiikan oppimäärien lukijat siis aloittavat matematiikan opintonsa kokonaisuudella, joka sisältää esimerkiksi peruslaskutoimituksia, prosenttilaskentaa, funktion käsitteen tarkastelua ja lukujonoja. Sisällöt eivät ole itsessään uusia, vaan ne on koottu yhteen vanhojen kurssien sisällöistä. Pitkässä matematiikassa peruslaskutoimituksia, prosenttilaskentaa ja funktioita käsiteltiin vanhalla MAA1-kurssilla, kun taas lukujonot olivat osa MAA9-kurssia. Lyhessä matematiikassa peruslaskutoimituksia ja potenssilaskentaa kerrattiin MAB1-kurssilla, logaritmia ja potenssifunktioita MAB3-kurssilla ja lukujonoja MAB6-kurssilla (Opetushallitus, 2003, 2015).

Muuten muutokset pitkän matematiikan opetussisällössä olivat vähäisiä. Vuoden 2015 opetussuunnitelma muutti kurssien MAA4–MAA10 keskinäistä järjestystä ja siirsi joitakin sisältöjä kurssilta toiselle. Esimerkiksi yhtälöryhmien ratkaiseminen siirtyi analyyttisen geometrian kurssilta vektorikurssille, ja yhdistetyt funktiot juuri- ja logaritmi-funktioiden kurssilta trigonometristen funktioiden kurssille. Käänteisfunktiot, joita ennen käsiteltiin kurssilla MAA8 (Juuri- ja logaritmfunktiot), muuttuivat vapaaehtoiseksi sisällöksi siirtyessään valinnaiselle MAA13-kurssille (Differentiaali- ja integraalilaskennan jatkokurssi) (Opetushallitus, 2015).

Muutos lyhyen matematiikan opetussisällössä oli näkyvämpi. Sitä voidaan kuvailla teoreettisemman matemaattisen sisällön vähenemisenä ja perustaitojen sekä soveltavan sisällön painottamisena. Esimerkiksi derivointia ja funktioiden kuvaajien kulkua käsittelevä kurssi MAB4 (Matemaattinen analyysi) muuttui syventäväksi kurssiksi, kun taas aiemmasta syventävästä kurssista MAB7 (Talousmatematiikka) tehtiin pakollinen. Tilastotieteen sisällön määrä kasvoi, kun muodostettiin uusi syventävä Tilastot ja todennäköisyys II -kurssi. Kurssin sisältöihin kuuluivat esimerkiksi vanhaan kurssiin MAB5 (Tilastot ja todennäköisyys) kuulunut normaalijakauma sekä kokonaan uutta sisältöä, kuten binomijakauma ja luottamusväli. Teoreettisempaa sisältöä sisältäneet kurssit MAB6 (Matemaattisia malleja II) ja MAB8 (Matemaattisia malleja III) poistuivat opetussuunnitelmasta. Osa vanhan MAB6-kurssin sisällöistä, kuten lukujonot, yhdistettiin uusiin kursseihin, kun taas osa, kuten lineaarisen yhtälöparin ratkaiseminen ja kahden muuttujan epäyhtälöt, poistuivat kokonaan. MAB8-kurssin sisältöjä, joihin kuuluivat trigonometriset funktiot, radiaanin käsite ja vektorit, ei integroitu uusiin kursseihin lainkaan. Ne siis poistuivat opetussuunnitelmasta (Opetushallitus, 2015).

	Fysiikka	Matematiikka, pitkä	Matematiikka, lyhyt
Poistuneita sisältöjä	Peilit ja linssit	Kvanttorit	Lineaarinen yhtälöpari
	Pyörimisen liikeyhtälö	Suora, käännteinen ja ristiriitatodistus	Kahden muuttujan epäyhtälö
	Pyörimismäärän säilymlaki	Newtonin menetelmä ja iterointi	Trigonometriset yhtälöt
	Vaihtovirtapiirit	Eratostheneen seula	Radiaani
	Värähtelypiiri ja antenni	Lukujonon raja-arvo äärettömydessä	Vektorit
Uusia sisältöjä	Mallit ja kokeellisuus (syvennetty)	Binomijakauma	Ennusteet ja mallin hyvyys
	Energiantuotanto ja ympäristö (syvennetty)	Korrelaatio ja lineaarinen regressio	Muutosnopeus ohjelmistoavusteisesti
	Sähköturvallisuus	Talousmatematiikka	Regressio ja korrelaatio
		Piste- ja ristitulo	Toistokoe
		Kolmiulotteinen geometria (syvennetty)	Luottamusväli ja virhemarginaali

Kuva 2.4: Muuttuva opetussuunnitelma. Esimerkkejä fysiikan ja matematiikan opetussuunnitelmista poistuneista sekä niihin lisätyistä uusista sisällöistä välillä 2005–2021.

2.2.2 Opetussuunnitelmauudistus 2019 ja tulevaisuus

Millaisia suuntaviivoja seuraavassa, vuoden 2019 opetussuunnitelmassa on havaittavissa? Merkittävä muutos on lukio-opintojen rakenteen muuttuminen opintopisteperusteiseksi. Opetus jäsennetään kurssien sijasta 1–3 opintopisteen suuruiseksi moduuleiksi, joista osa on edelleen pakollisia ja osa valtakunnallisia syventäviä moduuleja. Ylioppilastutkinnon laajuudeksi tulee yhteensä 150 opintopistettä. Koska 2 opintopistettä vastaa ajallisesti yhtä vanhaa kurssia, ei ylioppilastutkinnon laajuus muutu vanhasta opetussuunnitelmasta. Matemaattisissa aineissa eroavaisuuksia esiintyy erityisesti pitkässä matematiikassa, siinä missä muutos vuoden 2015 opetussuunnitelmassa painottui fysiikkaan ja lyhyeen matematiikkaan. (Opetushallitus, 2019).

Fysiikassa vanha FY1-kurssi (Fysiikka luonnontieteenä) jaetaan kahteen erilliseen moduuliin, jotka yhteenlaskettuna vastaavat ajallisesti vanhaa kurssia. Yleisesti ottaen uusi opetussuunnitelma vaikuttaa painottavan energian käsitettä opintojen alkuvaiheessa vanhaa opetussuunnitelmaa enemmän: ensimmäisten moduulien kuvauksissa esiintyvät esimerkiksi käsitteet energialaji, energiantuotanto, energian säilyminen ja energiatalous. Sähköoppia käsittelevä moduuli palaa vanhalle paikalleen edeltämään sähkömagnetismia käsittelevää moduulia. Kokonaisuutena fysiikan opintosuoritusten määrä pysyy ajallisesti

samana (Opetushallitus, 2019).

Myöskään matematiikan opintosuoritusten määrä ei uudistuksessa muutu, vaikka kurssien sisältö vanhasta erityisesti pitkässä matematiikassa poikkeaa. Lukujonot poistuvat matematiikan yhteisestä opintokokonaisuudesta, ja niiden tilalla käsitellään verrannollisuutta, ensimmäisen asteen yhtälön ratkaisemista ja yhtälöpareja. Pitkässä matematiikassa analyyttistä geometriaa ja vektoreita käsittelevät kurssit yhdistetään yhdeksi kolmen opintopisteen suuruisiksi moduuliksi. Kurssit MAA2, MAA7 ja MAA8 järjestellään uudelleen moduuleiksi Funktiot ja yhtälöt 1 sekä Funktiot ja yhtälöt 2. Uusina kokonaisuuksina nähdään pakollinen talousmatematiikan moduuli ja syventävä kolmiulotteisen geometrian moduuli. Samalla uusina sisältöinä opetussuunnitelmaan lisätään esimerkiksi piste- ja ristitulon käsitteet, ja kolmiulotteisen geometrian sekä vektorilaskennan painotus vahvistuu. Opetussuunnitelmasta poistuu vanhaan MAA11-kurssiin (Lukuteoria ja logiikka) kuulunutta sisältöä kuten matemaattisia todistustapoja ja Eratostheneen seula. Lyhyessä matematiikassa muutoksia ovat esimerkiksi lukujonojen siirtyminen matematiikan yhteisestä opintokokonaisuudesta MAB2-moduuliin (Lausekkeet ja yhtälöt) sekä vanhan talousmatematiikan kurssin jakaminen kahdeksi erilliseksi, yhden opintopisteen suuruisiksi moduuliksi (Opetushallitus, 2019).

Millainen kokonaiskuva vuosina 2005–2021 opetussuunnitelmaan tehdyistä muutoksista muodostuu? Tietotekniikan merkitys opetuksen järjestämisessä on kasvanut huomattavasti, ja erityisesti matematiikassa ohjelmistojen hyödyntäminen mainitaan jokaisen kurssin oppimistavoitteissa. Esimerkiksi funktioiden kulun ja käyttäytymisen tutkimista ohjelmistoavusteisesti painotetaan sekä pitkässä että lyhyessä matematiikassa. Symbolisen laskennan ohjelmistoista voi olla selkeää visuaalista hyötyä pitkän matematiikan uudella kolmiulotteista geometriaa käsittelevällä kurssilla. Samalla myös käytännön sovellusten painotus vaikuttaa kasvaneen. Ennusteita, kokeellisuutta ja mallien muodostamista korostetaan sekä fysiikassa että lyhyessä matematiikassa, kun taas pitkään matematiikkaan lisätään talousmatematiikan moduuli. Samalla suuntaus vaikuttaa olevan teoreettisemman, kenties hankalammaksi mielletyn, matemaattisen sisällön karsiminen. Tästä esimerkkejä ovat pyörimisliike ja vaihtovirtapiirit fysiikassa, todistustavat ja lukujonon raja-arvo äärettömyydessä pitkässä matematiikassa sekä lineaariset yhtälöparit ja trigonometriset yhtälöt lyhyessä matematiikassa. Opetussuunnitelmaan lisättyjä ja siitä poistuneita sisältöjä on luetteloitu taulukossa 2.4.

2.3 Sähköinen ylioppilaskoe

Sähköisissä ylioppilaskokeissa vaadittavissa taidoissa on pyritty vastaavuuteen vanhan, paperisen ylioppilaskokeen kanssa. Erona vanhaan kokeeseen opiskelijat kirjoittavat ja palauttavat vastauksensa vastauskenttään, jolla voi tuottaa myös matemaattista notaa-

	Kuvankäsittely	Laskinohjelmistot	Muut ohjelmistot
Ilmaiset	Dia	GeoGebra	LibreOffice
	GIMP	GNOME-laskin	MarvinSketch
	InkScape	KCalc	Mousepad
	Pinta	SpeedCrunch	Okular
		wxMaxima	
Kaupalliset		Casio ClassPad	4f-vihko
		TI-Nspire	LoggerPro
			MAOL-digitaulukot

Kuva 2.5: Sähköisissä ylioppilaskokeissa sallitut ohjelmistot. Ohjelmistot, joiden käyttö ei ole mahdollista matematiikan ylioppilaskokeen A-osassa, on alleviivattu. (Ylioppilastutkintolautakunta, s.a.-a)

tiota. Lisäksi opiskelijat voivat hyödyntää erilaisia koejärjestelmästä löytyviä ohjelmistoja koetehtävien ratkaisemisessa. Myös kuvakaappaus ohjelmistolla tuotetusta ratkaisusta kelpaa vastaukseksi koetehtävään, edellyttäen että se on riittävän selkeä ja täyttää muuten hyvän vastauksen kriteerit (Ylioppilastutkintolautakunta, 2018a, 2018b).

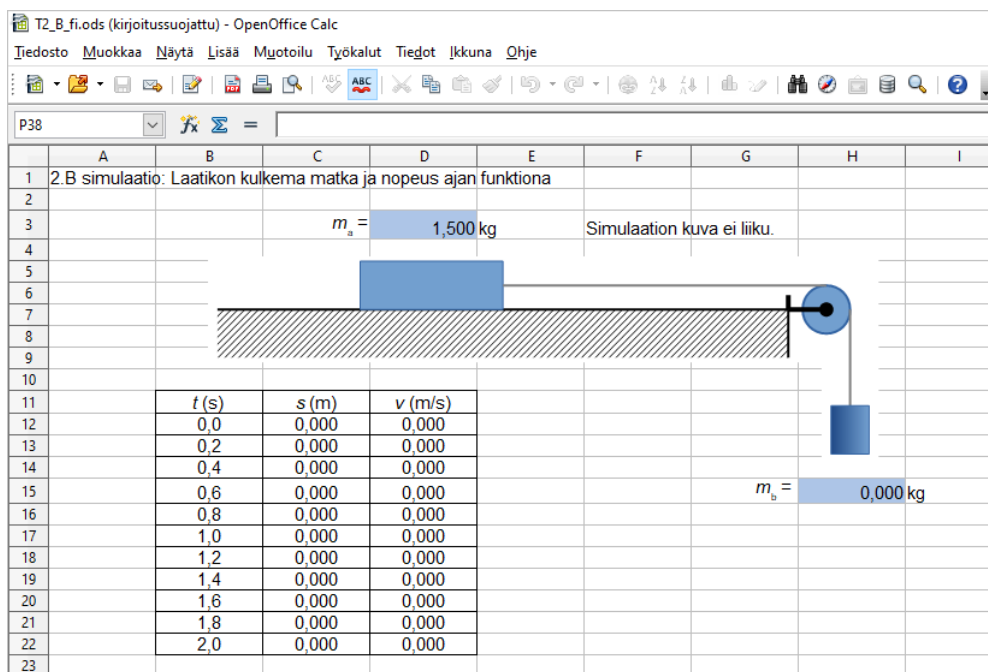
Sallittuja ohjelmistoja on yhteensä 18, joista osa on ilmaisia ja osa kaupallisia. Niihin kuuluu esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmistoja, symbolisen laskennan ohjelmistoja, data-analyysiohjelmistoja ja digitaalinen taulukkokirja; tarkemmin ohjelmistot on listattu taulukossa 2.5. Vaikka kaupallisten ohjelmistojen käyttöön ottaminen opetuksessa riippuu opiskelijoista ja lukioista, ovat kaikki ohjelmistot itse kokeessa kuitenkin käytettävissä. Myös fyysisen taulukkokirjan ja laskimen käyttö on fysiikan ja matematiikan ylioppilaskokeissa sallittua syksyn 2020 kokeeseen asti (Ylioppilastutkintolautakunta, 2018a, 2018b).

Fysiikan ylioppilaskoe jaettiin sähköistymisen myötä kolmeen osaan. Näistä ensimmäinen osa sisältää pakollisia, automaattisesti tarkastettavia tehtäviä, jotka voivat olla esimerkiksi lyhyitä monivalintatehtäviä (Kuva 2.6). Toinen osa koostuu vertailu- arviointi- ja sovellustehtävistä, joissa opiskelijalta voidaan vaatia esimerkiksi ilmiöiden selittämistä

1.9. Mikä seuraavista suureista voidaan määrittää fotonille? (2 p.)

- ☐ Lepomassa
- ☐ Sähkövaraus
- ☐ Energia
- ☐ Lämpötila

Kuva 2.6: Automaattinen monivalintatehtävä. Ylioppilaskokeen sähköistyminen on mahdollistanut yksinkertaisten tehtävien automaattisen tarkastamisen. Tehtävä: (Yleisradio, 2019)

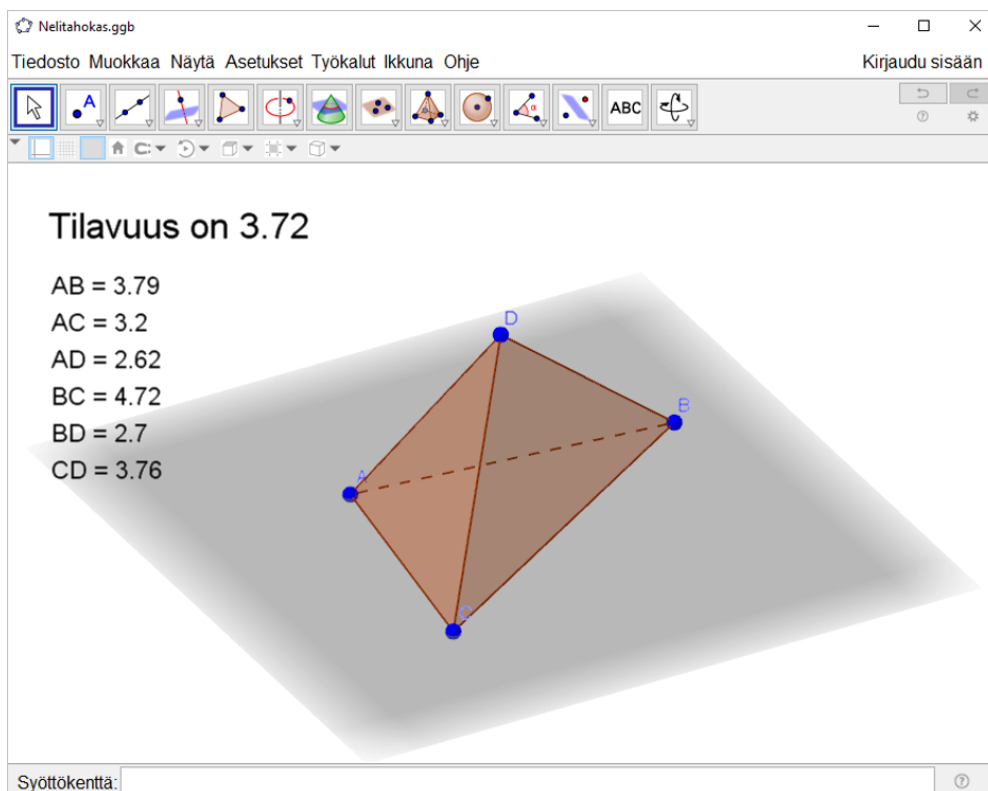


Kuva 2.7: Simulaatioaineisto. Fysiikan sähköisissä ylioppilaskokeissa on pyydetty lepokitkakertoimen määrittämistä simulaation avulla. Tehtävä: (Yleisradio, 2020b)

ja perinten matematiikkapainotteisten laskutehtävien laskemista. Kolmas osa on tarkoitettu osioista vaativimmaksi. Se koostuu analysointi- muunnos ja kehittämistehtävistä, jotka sijoittuvat pääosin muita osioita korkeammille ajattelun tasoille, kuten analysoimisen, arvioimisen ja luomisen tasoille. Kokeen toisessa ja kolmannessa osassa opiskelijoilla on jonkin verran valinnanvaraa sen suhteen, minkä tehtävien ratkaisemista he haluavat yrittää (Ylioppilastutkintolautakunta, 2018a).

Sähköinen ylioppilaskoe on mahdollistanut myös videoiden ja simulaatioiden liittämisen osaksi tehtävänantoja. Opiskelijoita voidaan pyytää kokeessa esimerkiksi selittämään videolla näkemänsä ilmiön tai määrittämään fysikaaliseen tilanteeseen liittyviä suureita simulaation avulla (Kuva 2.7). Lisäksi tehtävien osaksi on voitu liittää entistä suurempia aineistoja, joiden analysoimisessa opiskelijat voivat halutessaan hyödyntää erilaisia taulukkolaskentaohjelmistoja (Ylioppilastutkintolautakunta, 2018a). Fysiikan kokeessa käytettävissä olevien apuvälineiden ja lisämateriaalin kirjo on siis laajentunut. Toisaalta suurimmassa osassa tehtäviä mahdollinen lisämateriaali koostuu edelleen kuvista ja taulukoista, kuten vanhassa paperikokeessakin.

Matematiikan sähköinen ylioppilaskoe on jaettu kolmeen osaan, vaikkakin jako toteutettiin jo ennen ylioppilaskokeiden sähköistämistä. Kokeen A-osa sisältää pakollisia tehtäviä, jotka voivat olla esimerkiksi monivalintatehtäviä tai lyhyitä lasku- ja selitystehtäviä. A-osan aikana koejärjestelmän symboliseen laskentaan ja käyrien sovittamiseen soveltuvat ohjelmat on kytketty pois päältä. Osa siis mittaa opiskelijan matemaattisia perustaitoja ja matemaattista yleissivistystä. Yksinkertaiset laskinohjelmistot, kuten KCalc



Kuva 2.8: Kolmiulotteinen aineisto. Matematiikan sähköisissä ylioppilaskokeissa on kokeiltu uudenlaisen lisämateriaalin liittämistä osaksi tehtävänantoja. Tehtävä: (Yleisradio, 2020a)

ja SpeedCrunch ovat kuitenkin edelleen opiskelijan saatavilla. (Luvussa 4 huomaamme, että erityisesti SpeedCrunchin saatavuus A-osassa herättää opettajien keskuudessa kritiikkiä, sillä ohjelmisto mielletään yllättävän monia toimintoja sisältäväksi). Kokeen B1-osa sisältää eritasoisia tehtäviä, ja kaikki järjestelmän ohjelmistot aktivoituvat siihen siirryttäessä. B2-osa sisältää vaativampia ja soveltavampia tehtäviä, ja pyrkii erottelemaan opiskelijoita laajempien käsitteiden ymmärryksen sekä syvällisemmän matemaattisen tiedon perusteella (Ylioppilastutkintolautakunta, 2018b).

Kuten fysiikassa, myös matematiikan sähköisessä ylioppilaskokeessa voidaan hyödyntää esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmistoissa avautuvia aineistoja. Lisäksi koejärjestelmä mahdollistaa kolmiulotteisten lisämateriaalin liittämisen osaksi tehtävänantoja (Kuva 2.8). Videomateriaalia ei ole hyödynnetty matematiikan kokeissa. Yleisesti ottaen tehtävänannot on pyritty muotoilemaan siten, ettei tietokoneohjelmistojen käyttö ole välttämätöntä tehtävien ratkaisemiseksi, vaikka niiden hallitsemisesta voikin olla kokeessa merkittävää hyötyä: ”*Voit käyttää GeoGebra-tiedostoa tehtävän tilanteen hahmottamiseksi, mutta tämä ei ole välttämätöntä ratkaisun kannalta*” (Yleisradio, 2020a).

2.4 Oppimistulosten mysteeri

Suomalaismediassa on käyty viime vuosina paljon keskustelua oletetusta peruskoulun ja lukion oppimistulosten heikentymisestä. Huomiota on saanut erityisesti oppijoiden lukutaito ja matemaattinen osaaminen, joista jälkimmäisen yhteydessä on mediassa käytetty jopa ilmaisuja *romahdus* (Iltalehti, 2013). Toisaalta myös luonnontieteiden oppimistulosten on usein todettu olevan heikentymässä. Kiinnostavaksi kysymykseksi nousee, voidaanko väitettä matemaattisten aineiden oppimistuloksien heikentymisestä erityisesti pitää perusteltuna. Mikäli väite pitää, luonnollinen jatkokysymys on, vallitseeko oppimistulosten alamäen ja digitalisaation välillä yhteys. Pyrimme käsittelemään aihetta erityisesti lukio-koulutuksen näkökulmasta.

Kehityssuuntien havaitseminen lukio-opiskelijoiden taitotasossa on ongelmallista, sillä suomalaislukioden oppimistuloksia ei ole tutkittu laajamittaisissa, standardisoiduissa tutkimuksissa. Myöskään Kansallinen koulutuksen arviointikeskus (Karvi) ja Opetushallitus eivät ole arvioineet opiskelijoiden taitotason kehitystä vuositasona. Sen sijaan ainoat saatavilla olevat kansainväliset vertailut, PISA ja TIMSS, käsittelevät peruskouluikäisten oppilaiden taitotasoa. Ovatko vertailut lukio-opiskelijoiden kannalta hyödyttömiä? Matemaattisissa aineissa osaaminen rakentuu pyramidin lailla niin, että perustaitojen hallitseminen mahdollistaa myös edistyneempien taitojen hallitsemisen. (Esimerkiksi integraalilaskennan oppiminen voi olla lähes mahdotonta, mikäli opiskelijalla ei ole perustaitoja matemaattisten lausekkeiden käsittelystä ja sieventämisestä). Vuonna 2017 julkaistussa kansallisessa arvioinnissa todetaan, että matemaattinen osaaminen 9. luokan lopussa korreloi voimakkaasti samojen opiskelijoiden lukion lopussa saavuttaman osaamistason kanssa (Metsämuuronen, 2017). Näin ollen peruskoululaisilla toteutettuja tutkimuksia voidaan pitää vähintäänkin suuntaa-antavina arvoina lukio-opiskelijoiden lähtötasolle, joka puolestaan ennustaa opiskelijoiden myöhempää osaamista.

Mitä muita oppimistulosten indikaattoreita käytössämme on? Karvi on tuottanut ainakin yhden suhteelliseen tuoreen arvioinnin lukio-opiskelijoiden taitotasosta toisen asteen koulutuksen lopussa, vaikkakaan arviointi ei sisällä vuositason tietoa ja antaa meille siten vain yhden datapisteen. Samaisessa arvioinnissa todetaan myös opiskelijoiden saamat kurssiarvosanat huonoksi osaamisen mittariksi, sillä eri lukioden arviointikriteerit eivät ole keskenään vertailukelpoisia (Metsämuuronen, 2017). Myös ylioppilaskokeiden normaalijakaumaan perustuva arviointitapa estää muutoksen havaitsemisen absoluuttisessa taitotasossa. Näin ollen ainoaksi mahdolliseksi lähestymistavaksi jää tarkastella fysiikan ja matematiikan ylioppilaskokeiden pisterajoja vuosina 2006–2018, jolloin kokeen mittama opetussisältö pysyi samana. (Pisterajojen käyttöön indikaattorina liittyy erilaisia ongelmia, joita käsitellään kappaleessa 2.4.2. Kaiken datan epätäydellisyydestä huolimatta pyrimme muodostamaan suuntaa-antavan käsityksen oppimistulosten suunnasta.)

2.4.1 Standardisoidut tutkimukset

Pitää paikkansa, että sekä suomalaisten oppilaiden suhteellinen sijoitus että absoluuttinen suoritustaso ovat laskeneet kansainvälisesti tunnetuissa PISA- ja TIMSS-vertailututkimuksissa. PISA mittaa 15-vuotiaiden, juuri lukion aloittamisiässä olevien oppilaiden yhteiskunnallisia avaintaitoja kolmella eri osa-alueella: lukutaidossa, matematiikassa ja luonnontieteissä (Schleicher, 2019). TIMSS puolestaan keskittyy 4.- 7.- ja 8.-luokkalaisten peruskoulun oppilaiden matematiikan ja luonnontieteiden taitoihin, ja on siten perinteisempi opetussisällön hallitsemisen mittari.

Suomi on sijoittunut PISA-tutkimuksissa kansainvälisesti verraten korkealle, ja vuoden 2018 tutkimuksessa Suomi ylitti OECD-maiden keskiarvon kaikissa kolmessa kategoriassa merkittävästi merkittävästi. Tästä huolimatta tutkimustulosten trendi kaikilla kolmella osa-alueella on ollut laskusuuntainen; esimerkiksi Schleicher luokitteli sen kategoriaan ”tasaisen laskeva” (Schleicher, 2019). Verrattaessa vuosien 2006 ja 2018 julkaisuja Suomen sijoitus laski matematiikan osaamisessa 2. sijalta 16. sijalle ja luonnontieteiden osaamisessa 1. sijalta 6. sijalle. Samalla aikavälillä suomalaisoppilaiden absoluuttinen pistemäärä laski matematiikassa 548 pisteestä 507 pisteeseen ja luonnontieteissä 563 pisteestä 522 pisteeseen (OECD, 2007; Schleicher, 2019). Taitotason laskun todettiin keskittyvän luonnontieteissä erityisesti heikotasoisempiin oppilaisiin, kun matematiikassa puolestaan taitotaso laski yhtäläisesti kaikilla oppilailla, mukaanlukien erinomaisesti matematiikkaa osaavat oppilaat (OECD, s.a.).

Suomessa toteutettujen PISA-tutkimusten tuloksista on myös nähtävissä neljä muuta keskeistä havaintoa: korostuneet sukupuolierot, kiinnostus- ja motivaatiotason lasku, kasvavat alueelliset erot ja erinomaisten matematiikan osaajien määrän lasku. Vuonna 2015 tutkimukseen osallistuneiden tyttöjen osaamistaso oli luonnontieteissä keskimäärin 19 pistettä poikia korkeampi. Ero oli OECD-maiden suurin. Samalla tutkimuksissa on viime vuosikymmeninä havaittu merkittävä luonnontieteitä kohtaan koetun kiinnostus- ja motivaatiotason lasku, joka on ollut pojilla erityisen korostunutta. Rautopuro ja Juuti esittävät, että kiinnostus- ja motivaatiotekijät selittäisivät suuremman osan suomalaisoppilaiden taitotason laskusta kuin esimerkiksi sosioekonomiset tekijät. Myös sosioekonomisten tekijöiden ja taitotason yhteyden on kuitenkin viime tutkimuksissa havaittu voimistuneen. Vuonna 2015 pääkaupunkiseudun oppilaiden osaamistaso luonnontieteissä erottui selvästi muita alueita parempana, kun vielä vuonna 2006 vastaavaa eriytymistä ei ollut havaittavissa. Lisäksi tutkimuksissa sekä erinomaisesti matematiikkaa osaavien oppilaiden määrä että taitotaso ovat laskeneet selkeästi (Rautopuro & Juuti, 2015).

Suomi on osallistunut TIMSS-tutkimukseen kolme kertaa. Vuoden 1999 tutkimuksessa mukana olivat vain 7.-luokkalaiset. Vuoden 2011 tutkimuksessa mukana olivat sekä 4.- että 7.-8.-luokkalaiset, kun taas vuoden 2015 tutkimuksessa käsiteltiin vain

	PISA	
	Luonnontieteet	Matematiikka
2006	563 (1. sija)	548 (2. sija)
2009	554 (1. sija)	541 (6. sija)
2012	545 (2. sija)	519 (12. sija)
2015	531 (3. sija)	511 (13. sija)
2018	522 (6. sija)	507 (16. sija)

	TIMMS	
	Luonnontieteet	Matematiikka
1999 (7. lk)	535	520
2011 (7.-8. lk)	552	514
2011 (4. lk)	570	545
2015 (4. lk)	554	535

Kuva 2.9: Suomalaisoppilaiden tulokset PISA- ja TIMSS-tutkimuksissa vuosina 1999–2018.

4.-luokkalaisten oppimistuloksia. Verrattaessa vuosien 1999 ja 2011 tutkimuksia 7.-8.-luokkalaisten absoluuttisessa pistemäärässä ei ole havaittavissa selkeää laskevaa trendiä. Pistemäärä laski matematiikassa 520 pisteestä 514 pisteeseen ja nousi luonnontieteissä 535 pisteestä 552 pisteeseen (Mullis et al., 2000; Martin et al., 2000; Mullis et al., 2012; Martin et al., 2012). (Luvut eivät tosin ole täysin vertailukelpoisia, sillä vain jälkimmäiseen tutkimukseen osallistui myös 8.-luokkalaisia.) Vuosina 2011–2015 puolestaan tulokset ovat yksiselitteisempiä, sillä niiden aikana 4.-luokkalaisten pistemäärä laski matematiikassa 545 pisteestä 535 pisteeseen ja luonnontieteissä 570 pisteestä 554 pisteeseen; samalla Suomen sijoitus laski matematiikassa 8. sijalta 17. sijalle ja luonnontieteissä 3. sijalta 7. sijalle (Mullis et al., 2016; Martin et al., 2016). PISA- ja TIMSS-tutkimusten tulokset on luetteloitu taulukossa 2.9.

PISA- ja TIMSS-tutkimusten tulokset ovat suhteellisen yhdenmukaisia, jos niiden tulkitaan kuvaavan 2000-vuosikymmenen puolivälissä alkanutta taitotason laskua. On kuitenkin huomioitava, että PISA-tutkimukset, joissa suomalaisoppilaiden pistemäärän heikkeneminen oli selkeämpää, eivät mittaa niinkään opetussuunnitelman mukaisten taitteiden osaamista. (TIMSS-tutkimuksen sisällön vastaavuus kansallisten opetussuunnitelmien kanssa on PISAA suurempi.) Sen sijaan PISAn tarkoitus on mitata *tulevaisuuden taitoja* – siis sitä osaamista, joita tutkimuksen toteuttajat arvioivat oppilaiden todennä-

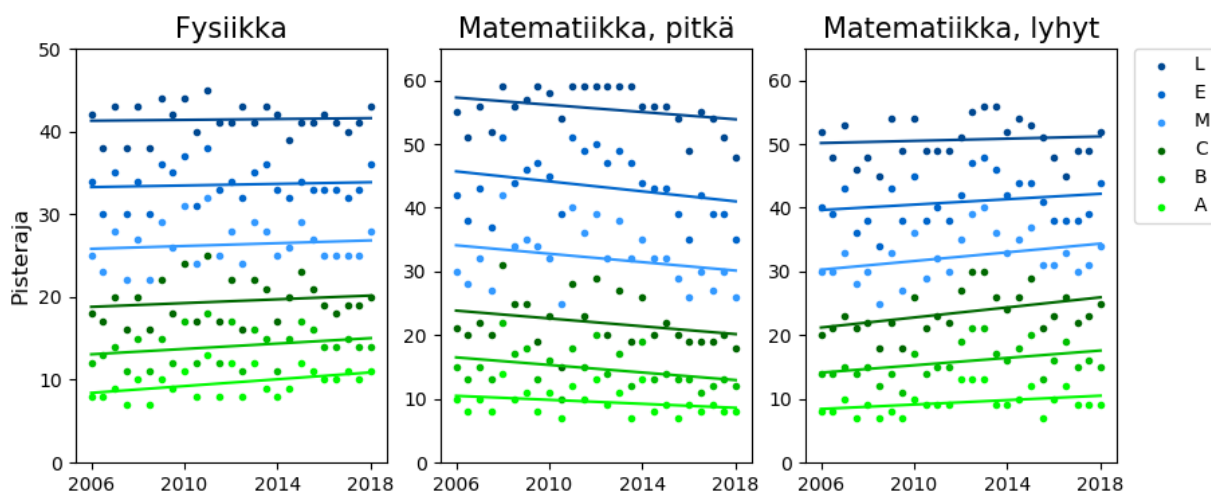
köisimmin tarvitsevan tulevissa opinnoissa, työelämässä tai yleisesti ottaen yhteiskunnan jäsenenä (Olsen & Nilsen, 2017). PISA-tutkimukseen osallistuvat oppilaat voivat joutua siinä esimerkiksi ratkaisemaan ongelmia, joita he eivät ole aiemmin kohdanneet muodollisessa koulutuksessa (Schleicher, 2019).

2.4.2 Kansalliset arvioinnit ja pisteraajat

Kansallisten arviointien suhteen lukion fysiikan ja matematiikan opetus kärsii samasta ongelmasta kuin standardisoiduissa testeissäkin: osaamista on arvioitu laajalti perustas- teella, mutta ei toisella asteella. Oppilaiden matemaattista osaamista peruskoulun päät- tövaiheessa on arvioitu viimeksi vuosina 2004, 2011, 2012 ja 2015. Oppilaat suorittivat arvioinneissa monivalinta- päässälasku- ja ongelmanratkaisutehtäviä, joista osa oli vuo- desta toiseen identtisinä toistuvia ankkuritehtäviä. Vuoden 2011 arvioinnissa tehtävien ratkaisuosuudet laskivat verrattuna edelliseen arviointiin kaikilla kolmella osa-alueella. Suurin lasku nähtiin monivalinta- ja ongelmanratkaisutehtävissä (Hirvonen, 2012). Vuo- den 2012 arvioinnissa ratkaisuosuuksien hienoinen lasku jatkui edelleen, ja vuoden 2015 arvioinnissa ei havaittu merkittävää osaamistason muutosta verrattuna vuoden 2012 ar- viointiin. Kokonaisuutena vuosina 2004–2015 päässälaskujen ratkaisuosuus laski 56 %:sta 52 %:iin, monivalintatehtävien 65 %:sta 54 %:iin ja ongelmanratkaisutehtävien 50 %:sta vain 34 %:iin (Rautopuro, 2016).

Vaikka myös lukiokoulutuksessa on toteutettu kansallisia arviointeja, joilla on eri- laisia yhteyksiä fysiikan ja matematiikan opetukseen, ei niihin kuitenkaan ole sisälty- nyt taitotason tarkastelua pitkällä aikavälillä. Niiden tuloksia voidaan siis pitää lähin- nä anekdootinomaisena tai syventävänä tietona. Vuonna 2012 julkaistiin arviointi, jossa dokumentoitiin korkeakouluopettajien näkemyksiä lukionkoulutuksen tuottamista jatko- koulutusvalmiuksista. Osaamistason heikkeneminen matemaattisissa perustaidoissa, ku- ten prosenttilaskuissa ja yhtälönratkaisussa, todettiin yhdeksi haastateltujen opettajien merkittävimmistä huolenaiheista. Arvioinnissa tuotiin esille myös, että korkeakoulujen vaatimuksia matemaattisissa aineissa on 2000-luvulla kevennetty, ja resursseja siirretty erilaisiin tukitoimenpiteisiin, kuten lukion oppimäärään kuuluvien matemaattisten perus- taitojen kertaamiseen (Hautamäki et al., 2012).

Vuonna 2017 julkaistiin kansallinen arviointi, jossa tarkkailtiin saman opiskelijajou- kon matemaattisen osaamisen kehitystä peruskoulun 2. luokalta aina toisen asteen koulu- tuksen loppuun saakka. Arvioinnissa todettiin, että osaamistaso peruskoulun päättövai- heessa korreloi voimakkaasti toisen asteen koulutuksen lopussa saavutetun osaamistason kanssa. Yleisesti opiskelijoiden matemaattinen osaaminen nousi merkittävästi toisen as- teen koulutuksen aikana. Osaamistason nousun havaittiin kuitenkin olevan voimakkaasti lukion pitkän matematiikan opetuksen varassa. Myös kurssimäärän ja kurssiarvosano-



Kuva 2.10: Arvosanojen pisterajat fysiikan ja matematiikan ylioppilaskokeissa kevästä 2006 kevääseen 2018. Dataan on sovitettu lineaarinen malli. (Ylioppilastutkintolautakunta, s.a.-b)

jen todettiin ennustavan opiskelijan osaamistasoa hyvin. Esimerkiksi yli 13 matematiikan kurssia suorittaneilla ja vähintään arvosanan 8 (hyvä) saaneilla lukio-opiskelijoilla osaamistason nousu vastasi 84 PISA-asteikon yksikköä. Samalla ammatillisella koulutuksella tai matematiikan lyhyellä oppimäärällä saatiin juuri säilytettyä 9. luokan lopun osaamistaso. Myös motivaation todettiin ennustavan osaamistasoa hyvin, vaikkakin arvioinnissa jätettiin avoimeksi kysymys, selittääkö korkea motivaatiotaso osaamista vai korkea osaamistaso motivaatiota. Opettajan tekemillä pedagogisilla ratkaisuilla todettiin olevan vain vähäinen vaikutus oppimistuloksiin (Metsämuuronen, 2017).

Lukio-opiskelijoita käsittelevän standardisoidun tutkimuksen puutteessa yhdeksi mahdolliseksi osaamisen mittariksi nousevat ylioppilaskokeiden arvosanojen pisterajat ajanjaksolla, joka ulottuu kevään 2006 kokeesta kevään 2018 kokeeseen. Ylioppilaskokeiden arvosanoilla on todettu olevan melko voimakas yhteys opiskelijoiden kurssiarvosanoihin, ja erityisesti reaalikokeista saadut arvosanat ennustavat hyvin opiskelijoiden yleistä opintomenestystä. Myös jatko-opinnoissa saatuja arvosanoja ylioppilaskokeen arvosanat ennustavat melko hyvin (Kupiainen, Marjanen, & Ouakrim-Soivio, 2018). Kevät 2006 on luonteva aloituspiste siksi, että ennen sitä fysiikan ylioppilaskoe oli osa useiden oppiaineiden yhteistä reaalikoetta. Kevät 2018 puolestaan soveltuu loppupisteeksi, koska sen jälkeen fysiikan ja matematiikan ylioppilaskokeet sähköistettiin porrastetusti, eivätkä niiden pisterajat enää olleet aiempien kokeiden kanssa vertailukelpoisia.

Opetussisältö ja kokeiden rakenne pysyivät ajanjakson aikana lähes vakioina. Vuoden 2003 opetussuunnitelma korvasi vuoden 1994 opetussuunnitelman syksyllä 2005. Vastaavasti ensimmäiset vuoden 2003 opetussuunnitelmaa mukailevat kokeet järjestettiin syksyllä 2007, vuonna 2005 aloittaneiden lukio-opiskelijoiden siirtyessä kolmannelle vuosiluokalle. Vuoden 2015 opetussuunnitelma puolestaan tuli voimaan syksyllä 2016, joten ensimmäiset sitä mukailevat kokeet järjestettiin syksyllä 2018. Näin ollen ainoastaan va-

litsemamme ajanjakson kolme ensimmäistä koetta (keväästä 2006 kevääseen 2007) perustuivat erilaiseen opetussisältöön kuin muut kokeet. Myös kokeessa vastattavien tehtävien määrä pysyi ajanjaksolla samana sekä fysiikassa että matematiikassa. Ainoa muutos kokeen rakenteeseen oli matematiikan ylioppilaskokeen jakaminen A- ja B-osiin keväällä 2016; samalla kokeesta poistui mahdollisuus vastata jokeritehtäviin, joiden maksimipistemäärä oli kuuden sijasta yhdeksän.

Ongelmallisin puoli ylioppilaskokeiden pisterajojen käyttämisessä oppimistulosten indikaattorina on oletus, että kokeiden vaikeustaso pysyi koko tarkasteltavana ajanjaksona samana. Edellä toki todettiin, ettei kokeiden opetussisältö muuttunut tarkasteltavana ajanjaksona lähes lainkaan. Silti on mahdollista, että poikkeuksellisen matalat pisterajat johtaisivat esimerkiksi kokeen vaikeustason korjaamiseen alaspäin seuraavissa kokeissa: ilmiö, jota ei PISAn ja TIMSSin kaltaisissa standardisoiduissa kokeissa esiinny.

Rajoitteistaan huolimatta fysiikan ja matematiikan ylioppilaskokeiden arvosanojen pisterajat valitsemallamme ajanjaksolla on koottu kuvaan 2.10. Millaisia havaintoja pisterajojen kehityksestä on tehtävissä? Fysiikan ja lyhyen matematiikan ylioppilaskokeissa ei ole havaittavissa taitotason laskuun viittaavaa trendiä, ja alempien ja keskimmäisten arvosanojen (M, C, B, A) pisterajat vaikuttavat jopa aavistuksen nousseen. Pitkän matematiikan ylioppilaskokeissa arvosanojen pisterajoissa vaikuttaa olevan ylempiin arvosiin painottuva laskeva trendi. Erityisen matalia ylimpien arvosanojen (L, E) pisterajat vaikuttavat olleen tarkasteltavan ajanjakson viimeisissä kokeissa, jolloin matematiikan kokeet jaettiin kahteen osaan.

2.4.3 Oppimistulosten suunta

Voidaanko väitettävä lukion fysiikan ja matematiikan oppimistulosten heikkenemisestä pitää perusteltuna? Ainakin perusasteella osaamistason laskun puolesta puhuva todistusaineisto on niin laaja, että sitä on hankala jättää huomiotta. Standardisoiduista tutkimuksista sekä PISA (2006–2018) että TIMSS (2011–2015) kertovat Suomen osalta sekä absoluuttisen pistemäärän että suhteellisen sijoituksen laskusta viime viidentoista vuoden aikana. Rautopuro ja Juuti toteavat, että PISA-tuloksissa havaittu lasku vastaa luonnontieteiden osaamisessa lähes kokonaisen kouluvuoden opintoja (Rautopuro & Juuti, 2015). Osaamistason laskuun viittaavat myös vuosina 2004–2015 toteutetut kansalliset arvioinnit matemaattisesta osaamisesta peruskoulun päättövaiheessa, joissa erilaisten tehtävätyyppien ratkaisuosuudet laskivat tarkastellulla aikavälillä 4–16 %-yksikköä.

Lukiokoulutusta arvioitaessa todisteet osaamistason laskusta ovat epäsuorempia, sillä toisella asteella ei ole toteutettu standardisoituja tutkimuksia eikä pitkäaikaisseurantoja. On kuitenkin todettava, että matemaattisten aineiden opetuksessa uusi opittu asia rakentuu pyramidin lailla aiemmin opittujen asioiden muodostamalle perustalle. Esi-

merkiksi peruskoulun päättövaiheessa saavutetun osaamistason on havaittu ennustavan hyvin toisen asteen lopussa saavutettavaa osaamistasoa, ja vastaavasti ylioppilaskokeiden arvosanat vaikuttavat toimivan melko hyvänä korkea-asteen opintomenestyksen mittarina. Ylioppilaskokeiden pisterajoissa laskeva trendi on havaittavissa lähinnä pitkän matematiikan arvosanoissa. Vaikka pisterajojen käyttämiseen taitotason mittarissa liittyy haasteensa, voidaan havainnon tulkita mahdollisesti kielivän syvemmän matemaattisen osaamisen heikkenemisestä.

Kokonaisuutena arvioiden väite taitotason laskusta on vähintäänkin *uskottava*, vaikka jälleen on painotettava tarvetta suuremmalle datalle, kuten taitotason pitkäaikaisarviointeille toisella asteella. Ei tule myöskään jättää huomiotta, että viimeisten viidentoista vuoden aikana vallitseva suuntaus fysiikan ja matematiikan opetussuunnitelmissa on ollut hankalaksi mielletyn sisällön karsiminen. Kupiainen, Marjanen ja Ouakrim-Soivio huomauttavat, että ylioppilaskirjoituksissa pitkän matematiikan kirjoittajien osuus on ollut laskussa, ja samanaikaisesti matematiikan kokeen kokonaan tutkinnosta pois jättävien opiskelijoiden osuus nousussa (Kupiainen et al., 2018). Kehityskulusta erityisen huolestuttavan tekee aiempi havaintomme, että matemaattisen taitotason nousu toisen asteen aikana on voimakkaasti pitkän matematiikan kurssien varassa.

Palatessamme kysymykseen digitalisaation ja oppimistuloksen välisestä yhteydestä voimme hyödyntää Petkon, Cantienin ja Prassen vuonna 2017 julkaistua maakohtaista vertailututkimusta. Tutkimuksessa käsiteltiin lukutaidossa, matematiikassa ja luonnon-tieteissä saavutettujen PISA-tulosten sekä tietotekniikan opetuskäytön välistä yhteyttä. Tutkimuksessa tietotekniikan opetuksellisen luokkahuonekäytön ja oppimistulosten välillä vaikutti vallitsevan negatiivinen korrelaatio. Toisaalta tietotekniikan opetuksellisen kotikäytön (ei siis kotona tapahtuvan viihdekäytön) ja oppimistulosten välillä havaittu korrelaatio oli positiivinen. Tulokset olivat yhtäpitäviä aiemman aiheeseen liittyvän tutkimuskirjallisuuden kanssa. Huomionarvoisena seikkana voidaan mainita, että myös tietotekniikkaan liittyvät positiiviset asenteet olivat suuressa osassa tutkittuja maita yhteydessä parempiin oppimistuloksiin. Petko, Cantieni ja Prasse tulkitsevat havaintoja esittämällä, että kenties hyvien oppimistulosten saavuttamiseksi avainasemassa on tietotekniikan opetuskäytön *laatu*, ei *määrä* (Petko, Cantieni, & Prasse, 2017). Hyvin suunniteltu, opetukseen lisäarvoa tuova digitalisaatio johtaa niin positiivisiin asenteisiin kuin tehokkaampaan oppimiseenkin – kun taas digitalisaation pitäminen itseisarvona on tuomittu epäonnistumaan.

3. Tietotekniikka ja kognitio

3.1 Itsesäätelevä oppija

3.1.1 Oppiminen kognitiivisena prosessina

Tarkastellaksemme tietotekniikan vaikutusta ihmisen kognitioon hyvä luonnollinen lähtöpiste on kysyä, miten käsite *kognitio* määritellään. Suurimmalla osalla ihmisistä lienee intuitiivinen käsitys siitä jonkinlaisena yleiskäsitteenä ihmismielen sisäiselle toiminnalle. Monen arkikielessä esiintyvän psykologian käsitteen tapaan myös kognition eksakti määrittely voi kuitenkin osoittautua yllättävänkin hankalaksi. Yleisesti tunnustetaan, että kognition piiriin kuuluvat ne mielensisäiset prosessit, jotka jollain tapaa käsittelevät tietoa. Näin esimerkiksi aistihavaintojen tekeminen ja tulkitseminen ovat kognitiivisia prosesseja. Samoin kognition piiriin voidaan laskea kuuluvaksi puheen tuottaminen ja ymmärtäminen, muisti, ajattelu, huomiokyky, ongelmanratkaisu, päätöksenteko ja sisäinen monologi. Kognitio kattaa siis varsin laajan alueen ihmisen koko mielenmaisemasta erilaisine toimintoineen ja prosesseineen.

Kognitio ei ole välttämättä tietoista. Aivot käsittelevät jatkuvasti lukematonta määrää erilaisia aistiärsyksiä. Esimerkiksi se, mitä näemme näkökentässämme, on aivojemme tulkinta silmiemme fotoreseptoreihin saapuneista fotoneista. Tätä kuvaa käsitellään ja päivitetään aivoissa jatkuvasti ilman, että prosessi vaatisi meiltä minkäänlaista tietoisesta osallistumista. Aivot kykenevät jopa täydentämään näkökentässämme esiintyviä puutteita kuin tiedostamattoman improvisaation kautta. Emme havaitse näkökentässämme hetkellistä käsittämätöntä sekasotkua aina, kun kohdistamme silmämme uuteen pisteeseen. Emme ole tietoisia näkökentässämme jatkuvasti läsnä olevista sokeista pisteistä kohdissa, joissa näköhermonpää vie tilan fotoreseptoreilta. Aistihavaintojen lisäksi myös muistoja, kieltä ja ajatuksia käsitellään jatkuvasti aivojemme tiedostamattomissa prosesseissa. Arkikokemuksemme kannalta tämä on varsin taloudellista. Säästäähän se meidät loputtomien aistiärsykkeiden ja tulkintojen tulvaan hukkumiselta!

Olemme nyt määritelleet kognition lyhyesti ja jakaneet sen tietoiseen ja tiedostamattomaan kognitioon. Entä miten oppiminen määritellään, ja miten se sijoittuu tunnustamamme jakoon? Määritelmämme mukaan oppiminen kuuluu selkeästi kognition piiriin,

sillä se on prosessi, jossa käsitellään tietoa. Kyseinen tieto voi liittyä vaikkapa luonnossa tekemäämme aistihavaintoon tai oppikirjasta lukemaamme tekstiin. Taber määrittelee oppimisen prosessiksi, joka mahdollistaa käytöksessämme tietyn muutoksen ((Taber, 2009): Luku 1.2). Pieni lapsi voi oppia olemaan nuolaisematta metalliesineitä pakkassäällä joko vanhempansa antaman ohjeen tai epämiellyttävämmän käytännön kokemuksen kautta. Mahdollisuus muutokseen käytöksessä ei kuitenkaan rajoitu vain arkielämän toimintoihin, vaan sisältyy myös abstraktimpien asioiden oppimiseen. Yhtälönratkaisua oppikirjasta opiskelevalla peruskoululaisella onnistuneen oppimisen mahdollistama muutos on se, että hän kykenee tarvittaessa ratkaisemaan yksinkertaisen matemaattisen ongelman yhtälönratkaisun periaatteita käyttäen.

Myöskään oppiminen ei aina edellytä tietoista prosessia ((Taber, 2009): Luku 1.8). Psykologian ehdollistamiskokeet ovat täynnä esimerkkejä tiedostamattomasta oppimisesta, ja myös arkielämässämme sitä esiintyy jatkuvasti. Muutamme toisinaan käyttäytymismallejamme sosiaalisista tilanteista tekemiemme tulkintojen vuoksi ilman, että huomaamme muutosta tietoisesti. Voimme esimerkiksi alkaa käyttämään puheessamme uusia ilmaisuja tai jättää ennen käyttämiämme ilmaisuja pois toisten ihmisten kielenkäytöstä tekemiemme havaintojen perusteella. Edes matemaattisten aineiden oppimisessa keskeinen kognitiivinen toiminto, ongelmanratkaisu, ei ole eksplisiittisesti tietoista. Tarkastellaan vaikkapa alkeellista matemaattista ongelmaa:

$$8 + 2 = ?$$

Tai yksinkertaista kuviopäättelytehtävää:



Molempien ongelmien ratkaisu lienee niiden lukijalle välittömästi selvä ilman niiden tietoista käsittelyä, ellei ensimmäisen ongelman ratkaisija satu olemaan alkeellisimpia peruslaskutoimituksia harjoitteleva ensimmäisen luokan oppilas. Eikä tiedostamaton ongelmanratkaisu rajoitu yksinkertaisiin ongelmiin! Tieteen historia on täynnä anekdootteja matemaatikoista ja fyysikoista, joille merkittävän ongelman ratkaisu selkeni yht’äkkisesti, vaikeivät he kyseisellä hetkellä edes työskennelleet ongelman parissa. On kuin valo olisi syttynyt heidän mielessään tai palapelin palaset olisivat lokahtaneet paikalleen! Kehotan myös lukijaa leikkimieliseen introspektioon: kun ratkaiset ennestään tuntematonta ongelmaa (oli se matemaattinen tai ei), selviääkö ongelman ratkaisu vaihe vaiheelta deduktiivisesti päätellen? Vai muistuttaako ratkaisun löytyminen pikemminkin sitä, että aivot olisivat prosessoineet ongelmaa tiedostamattomasti ja ”antaneet” valmiin ratkaisun sitten tietoisuuteesi? Käsittelemme oivaltamisen tunteen merkitystä oppimisessa ja koulutuksen digitalisaatiossa tarkemmin luvussa 3.2.1.

3.1.2 Metakognitio ja metakognitiiviset tuet

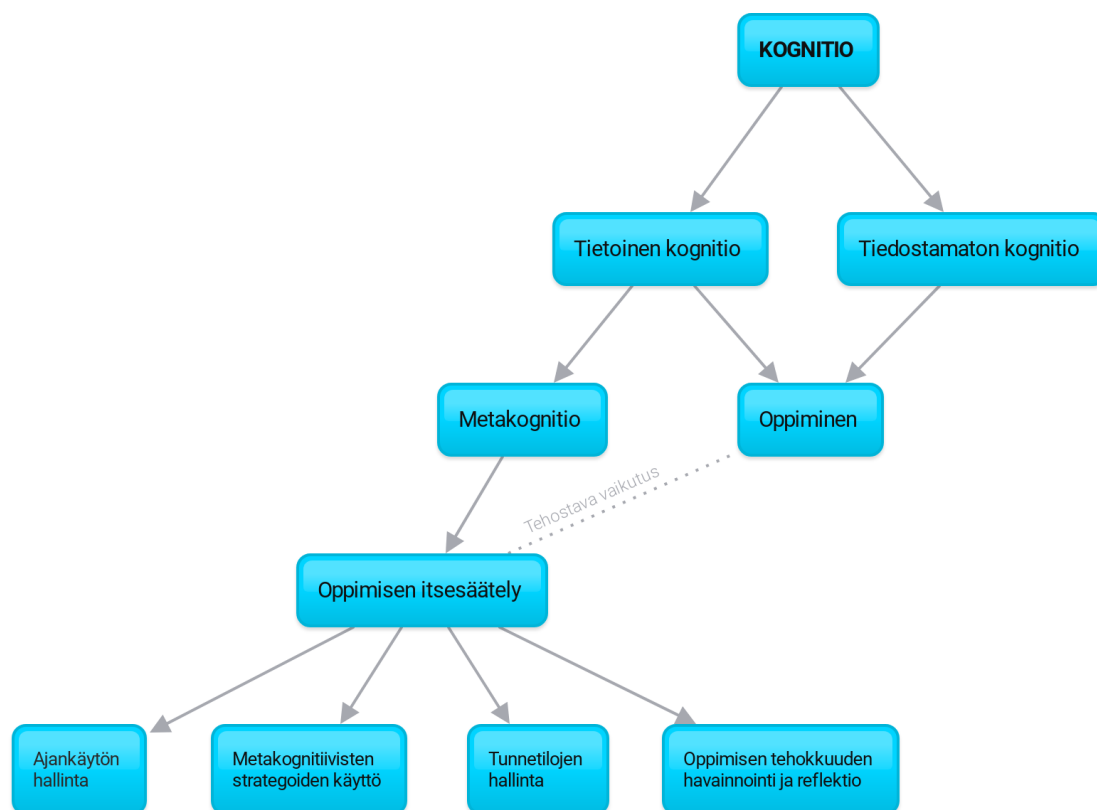
Vaikka tiedostamattomien kognitiivisten prosessien kirjo on laaja, määritellään eräs oppimisen kannalta erityisen kiinnostava kognition alalaji, *metakognitio*, usein eksplisiittisesti tietoiseksi. (Kuva 3.1). Metakognitio tarkoittaa kognitioon itseensä kohdistuvaa kognitiota, eräänlaista ajattelun ajattelua. Esimerkiksi omien kykyjensä tai ajattelu- ja toimintatapojensa kriittinen arviointi on metakognitiota, kuin myös oppimis- tai ongelmanratkaisustrategioiden tietoinen muodostaminen. Näin metakognitio prosessina tukee tietoista oppimista ja ongelmanratkaisua. Esimerkiksi ratkaisustrategiaa heittoliikettä käsittelevälle ongelmalle kehittävä oppija harjoittaa metakognitiota. *Tiedän, että tämän ongelman voi ratkaista hyödyntämällä joko Newtonin lakeja tai energiaperiaatetta. Valitsen energiaperiaatteen, koska sitä käyttäessä laskusta tulee todennäköisesti lyhyempi.*

Edellä totesimme, ettei kaikki oppiminen edellytä oppijan tietoista läsnäoloa. Näin ollen myöskään metakognitio ei ole oppimisen edellytys, ja eräissä tilanteissa metakognitiiviset prosessit voivat jopa oppimiselle vahingollista. Esimerkiksi aloittelijaa edistyneempi tanssija tai pianisti tuskin hyötyvät performanssinsa liikeratojen jatkuvasta metakognitiivisesta tarkkailusta. Siksi pelkän metakognition sijasta sopivampaa voi olla puhua *metakognitiivisista taidoista*, joiden käyttöä niihin soveltuvissa tilanteissa on myös mahdollista kehittää harjoittelemalla. Rathore toteaa, että metakognitiivisten taitojen hyvä hallinta on on yhteydessä tehokkaampaan oppimiseen* (Rathore, 2015).

Metakognitiivisten taitojen hallinta on keskeistä myös koulutuksen digitalisaation onnistumisen kannalta. Eräs tietotekniikan opiskelukäytössä erityisen olennainen metakognitiivinen taito on *oppimisen itsesäätely*. Boekaerts ja Niemivirta kuvailevat itsesäätelyä oppijan ajatusten, toimintojen ja tunteiden tietoiseksi suuntaamiseksi jonkin oppimistavoitteen saavuttamiseen ((Boekaerts, Pintrich, & Zeidner, 2005): Luku 13). Tehokkaasti itsesäätelyä oppijalle ominaista on suunnitelmallinen oppimisstrategioiden kehittäminen omat tiedot, taidot ja puutteet huomioon ottaen. Yksinkertaisimmillaan itsesäätelyä voisi olla esimerkiksi ajankäytön suunnittelu kokeeseen valmistauduttaessa tai linkkejä sisältävän hypertextidokumentin lukemisjärjestyksen päättäminen. Itsesäätelyn positiivisesta vaikutuksesta oppimiseen vallitsee varsin laaja konsensus (Kts. esim. (Azevedo & Aleven, 2013): Luku 2; (Nussbaumer et al., 2014)).

Itsesäätelyn merkitys korostuu digitaalisessa oppimisessa perinteistä luokkahuoneopiskelua voimakkaammin. Pohditaan hetken kolmea tyypillistä digitaalisen oppimisen ilmentymää: symbolista laskentaa, verkkokursseja ja tiedonhakua verkosta. Matemaattisissa aineissa vastuu siitä, kuinka paljon laskentaohjelmistoja ongelmanratkaisussa hyödyn-

*Metakognitiolla on osansa myös ei-matemaattisissa aineissa, vaikka sen merkitys matemaattisissa aineissa erityisesti ongelmanratkaisupainotteisuuden takia korostuu. Esimerkiksi kielten opiskelussa yleiset muistisäännöt ovat varsin tehokas metakognitiivinen oppimisstrategia.



Kuva 3.1: Oppimiseen liittyvien kognitiivisen psykologian käsitteiden keskinäisiä suhteita. Kuva: Toni Mikkonen

tää, jää usein oppijalle. Esimerkiksi tehtävän välivaiheena esiintyvän yhtälöryhmän tai logaritmin voi sieventää joko käsin tai laskentaohjelmiston avulla. Näin ollen oppija joutuu harjoittamaan jatkuvaa itsesääätelyä tehdessään valintoja siitä, priorisoiko hän matemaattisten perustaitojen vahvistamisen vai ongelmien nopeamman ratkaisemisen (jälkimmäisessä mahdollisesti keskittyen samalla vahvemmin tehtävän syvempiin matemaattisiin lainalaisuuksiin). Vaikka myös opettajalla on osuutensa laskentaohjelmistojen käytön säätelystä – hän voi esimerkiksi päättää järjestää ilman ohjelmistoja ratkaistavia välikokeita – ei itsesäätelevä oppija koskaan poistu valintojen keskiöstä.

Verkkokursseissa tarvetta itsesääteelyyn voi pitää lähes sisäänrakennettuna ominaisuutena, sillä niihin kuuluu tyypillisesti jonkinasteinen hyödynnettäviin materiaaleihin, opetussisältöihin ja ajankäyttöön liittyvä valinannvapaus ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 8). Oppijan on päätettävä, mihin kurssiaktiviteetteihin hän osallistuu ja milloin, sekä kuinka paljon aikaa hän kurssiaktiviteetteihin osallistumiseen käyttää. Motivaation rooli verkkokurssimuotoisessa oppimisessa on ilmeinen. Muun muassa Lee toteaa, että verkkokurssit kärsivät usein kurssit hyväksytysti läpäisevien oppijoiden matalista osuuksista (Lee, 2019). Viimeisenä digitaalisen oppimisen ilmentymänä mainitsimme tiedonhaun verkosta. Linkkejä ja yhteyksiä sisältävän verkkomaisen hypertekstin käyttämisen tietolähteenä on todettu olevan perinteiseen, lineaarisesti etenevään oppikirjatekstiin verrattuna

sekä kognitiivisesti kuormittavampaa että enemmän itsesääätelyä vaativaa. Hypertekstiä hyödyntävän oppijan on jatkuvasti arvioitava sekä lukemansa sisällön luotettavuutta että sen olennaisuutta opittavan asian kannalta. Hyperteksti mahdollistaa asioiden välisten yhteyksien nopean tarkistamisen ja mieleen palauttamisen – mutta myös loputtomaan yhteyksien verkkoon hukkumisen ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 9).

Tässä tekstissä mainitaan useaan otteeseen sana *tuki*. Englanninkielisessä tutkimuskirjallisuudessa sanan sijasta käytetään kahta eri käsitettä, *support* ja *scaffolding*. Sanalla *support* tarkoitetaan mitä tahansa oppijalle annettavaa pysyvää tukea, jonka tavoitteena on oppimistulosten parantaminen. Esimerkiksi sähköisessä oppimisympäristössä oppijalle annettavat vihjeet kuuluvat tähän kategoriaan. Sana *scaffolding* puolestaan kääntyy suoraan *rakennustelineiksi*. Sillä tarkoitetaan väliaikaista tukea, tietynlaisia apupyöriä, joita hyödynnetään, kunnes oppija saavuttaa tietyn taitotason. Tässä tekstissä molemmat sanat käännetään yksinkertaisesti tueksi, ja siten metakognitiivisilla tuilla tarkoitetaan niitä sähköisiin oppimisympäristöihin rakennettuja ominaisuuksia, joiden tarkoituksena on oppijan metakognitiivisten taitojen, kuten itsesäätelyn, kehittäminen. Vastaavasti myöhemmissä luvuissa mainitsemme muita tukityyppejä, kuten rakenteelliset tuet, omaehtoisuuden tuet ja navigaatiotuet.

Tiivistäen itsesäätelyn taitoa voidaan pitää tietynlaisena vahvana perustana, joka oikein hyödynnettynä tukee muiden kognitiivisten ja metakognitiivisten taitojen käyttöä ja tehostaa oppimista. Tutkiessamme tietotekniikan vaikutuksia oppimiseen huomaamme juuri itsesäätelyn olevan avain monen ongelman ratkaisuun. Koulutuksessa hyödyntävät ohjelmistot ja sähköiset oppimisympäristöt tulisi rakentaa oppijan itsesäätelystä edistäväksi esimerkiksi metakognitiivisten tukien avulla.

3.2 Motivaatiotekijöiden merkitys

3.2.1 Oppiminen ja tunnetilat

Oppiminen kognitiivisena prosessina ei tapahdu tyhjiössä, eikä sitä voida säädellä vain oppimiseen käytetyn ajan ja opetussisällön vaativuuden kaltaisten tekijöiden pohjalta. Sen sijaan oppimisen tehokkuuteen vaikuttaa myös motivaatio, asenteet ja tunnetilat – oppijan koko sisäinen mielenmaisema. Motivaatio käsitteenä on usein tapana jakaa *ulkoiseen* ja *sisäiseen motivaatioon*. Ulkoinen motivaatio muodostuu nimensä mukaisesti oppijaan kohdistuvista ulkoisista motivaatiotekijöistä, kuten koearvosanoista, sosiaalisesta paineesta ja henkilökohtaisista tavoitteista, joihin voivat tyypillisesti kuulua vaikkapa jatko-opiskelupaikka, valmistuminen tai työllistyminen. Sisäinen motivaatio puolestaan on kiinnostukseen ja tunnetiloihin pohjautuvaa motivaatiota, jossa oppiminen nähdään tavoitteena itsessään. Lin, McKeachie ja Kim toteavat, että parhaita oppimistuloksia saa-

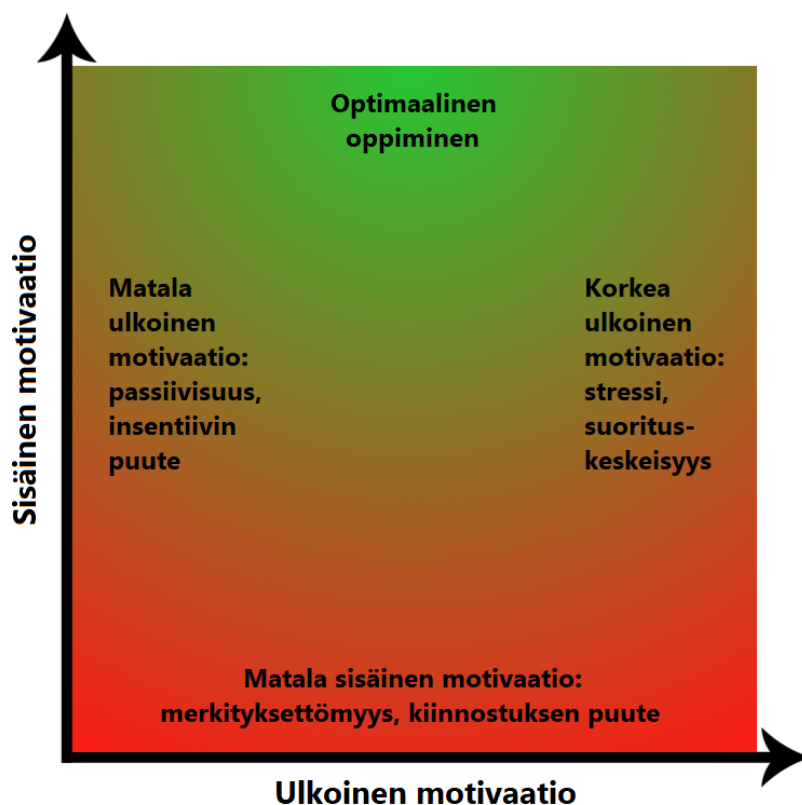
vuttavat oppijat, joiden sisäinen motivaatio on korkea ja ulkoinen motivaatio keskitasoa* (Lin, McKeachie, & Kim, 2001). (Kuva 3.2)

Tietotekniikan vaikutusta oppijoiden motivaatioon käsittelevien meta-analyysien tulokset ovat olleet suhteellisen myönteisiä. Higginsin, Huscroft-D'Angelon ja Crawfordin meta-analyysissä tietotekniikan käytöllä havaittiin olevan tilastollisesti merkittävä positiivinen vaikutus matematiikan oppijoiden motivaatioon, asenteisiin ja oppimistuloksiin. Motivaation suhteen vaikutus tuli kuitenkin näkyväksi vain tapauksissa, joissa tietotekniikkaa käytettiin opetuksen apuvälineenä tai lisänä – ei niissä, joissa koko opetustilanne pohjautui tietotekniikkaan. Meta-analyysin toinen havainto oli, että positiivinen vaikutus oli suurimmillaan niissä tilanteissa, joissa tietotekniikan käyttökertojen määrä oli vähäisempi. Käyttökertojen määrän kasvaessa vaikutus hälveni ja lopulta katosi. Havainto on ristiriidassa aiempien, 2000-vuosikymmenen puolivälissä toteutettujen meta-analyysien kanssa. Mahdolliseksi selitykseksi aiempien meta-analyysien poikkeavuudelle esitettiin tietotekniikan opetuskäyttöön vielä silloin liittynyttä uutuudenviehätystä (Higgins, Huscroft-D'Angelo, & Crawford, 2019).

Oppimisen aikana koetut tunnetilat poikkeavat muuten arkikokemuksessamme yleisistä tunnetiloista. Suuri osa tunnetiloja käsittelevästä psykologian tutkimuksesta on keskittynyt nk. kuuteen perustunteeseen, joihin kuuluviksi usein luetaan ilo, suru, viha, inho, pelko ja hämmästyminen. Näiden tunteiden ilmeneminen oppimistilanteissa on kuitenkin vähäistä – niistä lähinnä kahta, iloa ja hämmästyksen, koetaan joissakin yhteyksissä. Sen sijaan oppimisen kannalta keskeisiin tunnetiloihin kuuluvat ahdistus, hermostuminen, hämmennys, tylsistyminen, uteliaisuus ja virtauskokemus (Kts. esim. (Azevedo & Alevin, 2013): Luku 44; (Lehman, D'Mello, & Graesser, 2012)). Oppija kokee negatiivisia tunnetiloja, kuten ahdistusta tai hermostumista, epäonnistuessaan tai vaikkapa jäädessään matematiikan tehtävää ratkaistessaan jumiin. Vastaavasti tehtävässä onnistuva tai muuten tavoitteensa saavuttava oppija kokee positiivisia tunnetiloja, kuten iloa ja tyytyväisyyttä (Lehman et al., 2012).

Motivaatiolla ja tunnetiloilla on monimutkainen ja vastavuoroinen keskinäinen suhde. Arkijärjen mukaan positiivisten tunnetilojen kokeminen lisää motivaatiota ja siten parantaa oppimistuloksia, kun taas negatiivisten tunnetilojen kokeminen vähentää motivaatiota ja siten vahingoittaa oppimistuloksia. Joidenkin tunteiden kohdalla tämä todella pitää paikkansa, sillä esimerkiksi tylsistymisellä vaikuttaa olevan negatiivinen ja virtauskokemuksella positiivinen korrelaatio oppimistulosten kanssa (Lehman et al., 2012). Mainittakoon kuitenkin eräs kaikenikäisten oppijoiden keskuudessa yleinen negatiivinen tunnetila, koeahdistus. Koeahdistuksen tiedetään sekä kuormittavan oppijaa kognitiivi-

*Havainnon vastaavuus arkijärjen kanssa on huomattavan suuri. Onhan helposti hyväksyttävissä, että sekä liian matala että liian korkea vaatimustaso olisi oppimisprosessille vahingollinen, kun taas korkea kiinnostusta opittavaan asiaan on hankala nähdä muuna kuin voimavarana!



Kuva 3.2: Oppijan sisäisellä motivaatiolla on positiivinen vaikutus oppimiseen. Ulkoisen motivaation suhteen koulutuksessa on tärkeää löytää tasapaino liiallisen kannusteettomuuden ja liiallisen suorituskeskeisyyden välillä. Kuva: Toni Mikkonen

sesti että vähentävän sisäistä motivaatiota. Samalla koeahdistus on kuitenkin *aktivoiva tunnetila*, joka voi antaa oppijalle voimakkaan ulkoisen motivaation oppimiseen, ja siten jokseenkin paradoksaalisesti parantaa oppimistuloksia! Samoin kuin jotkut negatiiviset tunnetilat voivat olla aktivoivia, voivat myös positiiviset tunnetilat toimia *deaktivoivina tunnetiloina*. Esimerkiksi liiallinen rentoutumisen tunne voi vähentää oppijan huomiokykyä ja johtaa siten opittavan tiedon pinnalliseen kognitiiviseen prosessointiin (Ramirez-Arellano, Bory-Reyes, & Hernández-Simón, 2019).

Erään näkemyksen mukaan negatiiviset tunnetilat voivat olla hankalien aiheiden oppimisen kannalta jopa lähes välttämättömiä. Lehman, D'Mello ja Graesser toteavat, että hämmennys (joka usein koetaan negatiiviseksi tunnetilaksi) on kenties yleisin oppimisen aikana koettava tunnetila. Samalla hämmennyksellä vaikuttaa ainakin tietyissä yhteyksissä olen voimakas yhteys parempiin oppimistuloksiin. Onkin esitetty, että oppija kokee hämmennystä, jos hänen kohtaamansa uusi tieto ei ole yhtäpitävää olemassaolevan tiedon kanssa. Syntyy kognitiivinen ristiriita, joka johtaa voimakkaaseen pohdintaan ristiriitaisen tiedon yhteensovittamiseksi ja lopulta oivallukseen. Näin oppimista ei tehosta itsessään hämmennyksen tunne, vaan sen yhteydessä esiintyvät kognitiiviset prosessit (Lehman et al., 2012). Ramirez-Arellanon, Bory-Reyesin ja Hernández-Simónin mukaan negatiivisilla

tunnetiloilla on positiivisia suurempi vaikutus oppimistuloksiin (Ramirez-Arellano et al., 2019).

Negatiivisilla tunnetiloilla on merkitystä, ja on syytä kysyä, voidaanko niiden ilmenemistä oppimisprosessissa säädellä tietotekniikkaa hyödyntäen. Lehman, D'Mello ja Graesser tutkivat hämmennyksen tahallista nostattamista oppijoissa esimerkiksi epätasällisia vihjeitä ja tehtävänantoja hyödyntäen. Tutkimuksessa todettiin, että tietyissä tilanteissa keinotekoisesti luotu hämmennys todella johti oppimismahdollisuuksiin ja jopa parempiin oppimistuloksiin. Tutkimuksen tekijät kuitenkin painottivat, ettei tutkimuksen tulos tarkoita, että kaikki hämmennys olisi oppijalle hyväksi. Pikemminkin tutkimus viittasi siihen, että oppijan yksilölliset ominaisuudet huomioon ottava tunnetilamanipulaatio voi tietyissä olosuhteissa edistää oppimista. Näin ollen tutkimuksesta ei tulisi vetää johtopäätöstä, jonka mukaan oppijan tahallinen hämmäntäminen kaikissa tilanteissa olisi pedagogisesti hyvä strategia (Lehman et al., 2012).

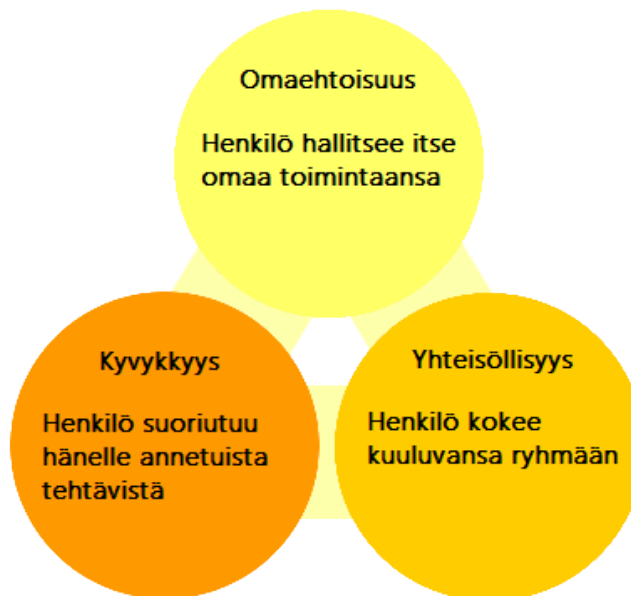
Eräs tutkimuksen kohteena oleva, vaikkakin laajasta opetuskäytöstä edelleen kaukana oleva mahdollisuus on tunnetiloihin reagoivat automaattiset tuutorointiohjelmat. Perinteinen tuutorointiohjelma käy oppijan kanssa sähköistä dialogia ja pyrkii antamaan tälle aktiivista palautetta suorittamastaan tehtävästä. Tunnetiloihin reagoivana versiona järjestelmä voisi tunnistaa oppimistilanteissa yleisiä negatiivisia tunnetiloja, kuten tylsistymistä ja turhautumista, sekä muokkaamaan aktiivista palautetta havaitun tunnetilan pohjalta. Näin esimerkiksi turhautunut oppija voisi saada järjestelmältä yksilöityjä vihjeitä. Vastaavien järjestelmien hyödyistä on jonkin verran näyttöä heikotasoisempien, ja siten todennäköisesti eniten rohkaisevan palautteen tarpeessa olevien oppijoiden keskuudessa ((Azevedo & Alevan, 2013): Luku 44). Käsitlemme automaattisia tuutorointiohjelmaa ja tarkemmin luvussa 3.4.2.

3.2.2 Psykologiset perustarpeet

Totesimme korkean sisäisen motivaation olevan yhteydessä parempiin oppimistuloksiin, mutta emme käsitelleet keinoja, joilla sisäiseen motivaatioon olisi mahdollista vaikuttaa. Decin ja Ryanin itseohjautuvuusteoriassa esitetään, että ihmisen motivaatioon vaikuttaa kolmen psykologisen perustarpeen: omaehtoisuuden, kyvykkyyden ja yhteisöllisyyden, täytyminen. Teoriassa omaehtoisuudella tarkoitetaan tunnetta vapaudesta ja toimintansa hallitsemisesta kausaalisen toimijana, *autonomian* kokemusta. Kyvykkyydellä tarkoitetaan tunnetta tehtäviensä hallinnasta ja osaamisen kokemusta. Yhteisöllisyydellä tarkoitetaan tunnetta yhteydestä muihin ja muiden kanssa vuorovaikuttamista, ryhmään kuulumisen kokemusta (Deci & Ryan, 2000).

Itseohjautuvuusteorian mukaan kolmen psykologisen perustarpeen täytyminen vaikuttaa ihmisen motivaatioon useilla tavoilla. Ensinnäkin tarpeiden täytyminen suoraan

**Motivaatioon vaikuttavat psykologiset perustarpeet
Decin ja Ryanin mukaan**



Kuva 3.3: Decin ja Ryanin itseohjautuvuusteorian mukaan ihmisen motivaatioon vaikuttavat kolme psykologista perustarvetta ovat omaehtoisuus, kyvykkyys ja yhteisöllisyys. Näistä erityisesti omaehtoisuus ja kyvykkyys korostuvat oppimisessä.

vahvistaa ihmisen sisäistä motivaatiota. Toiseksi se tehostaa ulkoisten motivaatiotekijöiden *sisäistämistä* sisäiseksi motivaatioksi – prosessi, jonka välityksellä esimerkiksi henkilökohtainen moraalikäsitys johdetaan ympäröivän yhteiskunnan sosiaalisista normeista. Kolmanneksi se edistää ihmisen pyrkimystä henkilökohtaisten tavoitteidensa täyttämiseen, joka vastaavasti tyydyttää psykologisia perustarpeita entisestään (Deci & Ryan, 2000). Näin psykologisten perustarpeiden täyttymisen ja henkilökohtaisten tavoitteiden toteutumisen voidaan nähdä olevan kuin itseään vahvistavassa positiivisessa kierteessä. (Henkilökohtainen tavoite voi olla esimerkiksi jonkin asian tai taidon oppiminen).

Deci ja Ryan pitävät omaehtoisuutta ja kyvykkyyttä kolmesta perustarpeesta sisäisen motivaation kannalta keskeisimpinä. Omaehtoisesti toimiva henkilö osallistuu aktiviteettiin vapaaehtoisesti, oman sisäisen motivaationsa yllyttämänä. Meta-analyysien perusteella esimerkiksi rahapalkintojen liittäminen osaksi tällaista aktiviteettia laskee osallistujan sisäistä motivaatiota. Osallistuja ei enää ole autonominen, vaan kokee palkintojen painostavan häntä: aktiviteetti muuntuu sisäisesti motivoituneesta ulkoisesti motivoituneeksi. Aktiviteettiin liittyvän valinnanvapauden taas on todettu nostavan sisäistä motivaatiota (Deci & Ryan, 2000). Havainto on relevantti myös koulutuksen digitalisaatiossa. Beal toteaa, että lisätyllä valinnanvapaudella on positiivinen vaikutus tietotekniikkaa käyttävien oppijoiden motivaatioon (Kuva 3.3) ((Azevedo & Alevén, 2013): Luku 22).

Sähköisissä oppimisympäristöissä omaehtoisuuden tarvetta voidaan täyttää rakentamalla oppimisympäristö omaehtoisuutta tukevaksi. Parhaimmillaan tällainen oppimisympäristö minimoi ulkoisen paineen, tunnistaa oppijan henkilökohtaiset tavoitteet ja tarjoaa valinnanvapautta. Myös merkityksellisten selitysten kunkin tehtävän tarkoitukselle tiedetään voimistavan omaehtoisuuden kokemusta (van Loon, Ros, & Martens, 2012). Digitaaliset oppimisympäristöt, erityisesti verkkokurssit, mahdollistavat valinnanvapauden sisällyttämisen opetukseen perinteistä opetusta tehokkaammin. Yksinkertaisimmillaan valinnanvapaus voi tarkoittaa vaihtoehtoja esimerkiksi aineisto- tai tehtävätyyppien tai sisältöjen opiskelujärjestyksen välillä. Pidemmälle vietyyn valinnanvapauteen taas voisivat sisältyä keskenään vaihtoehtoiset aihepiirit tai opetussisällöt.

Kyvykkääksi itsensä kokeva henkilö tuntee hallitsevansa tehtävänsä ja pystyvänsä suoriutumaan niistä tehokkaasti. Sisäistä motivaatiota ei edistä jatkuva osaamattomuuden, hämmennyksen tai hukassa olemisen kokemus. Ilmeisin tapa kyvykkyyden tarpeen täyttämiseen oppimisessa on annettujen tehtävien sopiva vaikeustaso. Haasteet ovat suotavia, sillä ilman niitä ei voida saavuttaa luvussa 3.2.1 kuvattua oivaltamisen tunnetta. Niiden ei kuitenkaan tulisi olla oppijan kannalta ylivoimaisia, sillä ylivoimaiset haasteet johtavat turhautumiseen. (Vastaavasti liian helppoja tehtäviä tulee karttaa tylsistymisen ja merkityksettömyyden tunteen välttämiseksi). Van Loon, Ros ja Martens toteavat, että sähköisessä oppimisympäristössä pystyvyyden tarvetta voidaan täyttää myös oppimisympäristön rakenteellisilla tuilla. Rakenteellisilla tuilla tarkoitetaan selkeitä tavoitteita ja odotuksia sekä merkityksen antamista kunkin tavoitteen saavuttamiselle. Niiden piiriin luetaan myös tuet, ohjeistukset ja selkeät toimintamallit. Sisäisen motivaation lisäksi sopivien rakenteellisten tukien tiedetään olevan yhteydessä parempiin oppimistuloksiin ja vahvempaan osallistumiseen (van Loon et al., 2012).

Omaehtoisuuden tuet saattavat vaikuttaa olevan rakenteellisten tukien kanssa ristiriidassa, tai jopa osittain sulkevan toisensa pois. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole, ja on mahdollista rakentaa sähköinen oppimisympäristö, joka tarjoaa sekä valinnanvapautta että ohjeistuksia ja ennalta määritettyjä toimintamalleja. Samoin on mahdollista rakentaa sähköinen oppimisympäristö, joka sekä ottaa huomioon oppijan henkilökohtaiset tavoitteet että antaa tälle selkeät odotukset. Kyse on kahden toistaan tukevan tukirakenteen tasapainosta. On uhkana, että liiallinen valinnanvapaus ilman sopivia rakenteellisia tukia johtaa valintojen paljouteen hukkumiseen, ja oppija prosessoi oppimansa asiat pinnallisesti muodostamatta niistä kognitiivisesti koherenttia kokonaisuutta. Kenties voidaan sanoa, että sähköisessä oppimisympäristössä tulisi pyrkiä tietynlaiseen *valinnanvapauden illuusioon*, jossa oppijat eivät kokisi ulkoista painetta mutta jossa heitä kuitenkin johdateltaisiin opetussuunnitelman mukaisiin oppimistavoitteisiin selkein toimintamallein ja ohjeistuksin. Van Loon, Ros ja Martens toteavat, että korkein sisäinen motivaatio ja parhaat oppimistulokset saavutetaan oppimisympäristöissä, joissa on sekä omaehtoisuuden

tukia että rakenteellisia tukia (van Loon et al., 2012).

3.3 Sähköisen tiedonhaku ja kognitio

3.3.1 Aivojen neuroplastisuus

Aivot eivät ole kone, joka rakennetaan tarkan kytkentäkaavion mukaisesti lapsen kasvaessa ja saavuttaa lopullisen muotonsa aikuisiässä. Sen sijaan ne ovat hämmästyttävän sopeutumiskykyinen elin, joka kykenee vastaamaan uusiin kokemuksiin jatkuvasti muovautumalla. Puhutaan aivojen *neuroplastisuudesta*: hermosolut voivat uusiutua ja muodostaa uusia keskinäisiä yhteyksiä läpi elämän. Jos aivot vaurioituvat, pystyvät ne jopa paikkaamaan tilannetta niin, että terveet osat ottavat vaurioituneelle osalle aiemmin kuuluneita toimintoja itselleen. Ääritapausta neuroplastisuudesta edustaa 44-vuotias ranskalaismies, jonka aivokudoksesta valtaosa oli korvautunut aivo-selkäydinnesteellä. Mies pystyi kuitenkin elämään täysin normaalia elämää: hän oli naimisissa oleva kahden lapsen isä joka työskenteli valtion virkamiehenä (Feuillet, Durouf, & Pelletier, 2007).

Juuri neuroplastisuus nostaa esiin kysymyksen siitä, voiko tietoteknisten apuvälineiden yleistyminen vaikuttaa kognitiivisiin toimintoihimme pidemmällä aikavälillä. Mediassa ja populaaritieteessä keskustelu painottuu erityisesti väitteeseen, että internetin aikakaudella ihminen muistaisi helpommin tietyn tiedon sijainnin kuin itse tiedon. Joskus esitetään suoraan epätarkasti määritelty väite, että teknologian käyttö tyhmentää ihmisiä. Väitteiden todenperäisyyttä vielä käsittelemättä historiallisia esimerkkejä uuden työkalun aiheuttamasta kognitiivisesta muutoksesta on useita. Esimerkiksi kirjoitustaidon ja laskuopin kehittäminen johti ortografiaan ja aritmetiikkaan erikoistuneiden aivoalueiden syntymiseen. Alueet kehittyivät aiemmin näköhavaintoihin ja lukumäärien tunnistamiseen keskittyneistä hermokytköksistä, ja siten alueiden synnyssä voidaan puhua tietynlaisesta neuroplastisesta ”hermokierätyksestä” (Loh & Kanai, 2016).

Ilmeisin tietotekniikan käyttöön liittyvä muutos viime vuosikymmeninä on ollut internetin käytön yleistyminen. Verkko on taskuissamme, pöydillämme, ja laukuissamme; joskus jopa autoissamme, kelloissamme ja kodinkoneissamme. Hieman leikillisesti voisi todeta, että kenties sanojen *online* ja *offline* sanakirjamääritelmien viereen tulisi lisätä huomautus ”vanhahtava” – onhan viestintä- ja verkkoyhteyksistä tullut monelle meistä jatkuvasti vallitseva tila! Tiedonlähteenä internet kuitenkin eroaa merkittävästi perinteisistä tietokirjoista. Verkossa on helposti saatavilla lähes rajaton määrä nopeasti päivittyvää tietoa. Sisällön luotettavuudesta ei kuitenkaan aina ole takeita, sillä kuka vain voi toimia sisällöntuottajana, eivätkä sisällöntuottaja lähteineen aina ilmene selkeästi. Lisäksi verkko sisältää paljon linkkejä, yhteyksiä ja häiriötekijöitä, ja edellyttää jonkinlaista kokemusta hakutoiminnon käyttämisestä (Firth et al., 2019). Vuoden 2019 lukiolaisba-

rometrissa 76 % opiskelijoista oli samaa mieltä väittämän ”käytän internetiä jatkuvasti tiedon hakemiseen ja uuden oppimiseen” kanssa (Lukiolaisbarometri, 2019).

Toinen, koulutuksessa erityisen selkeästi näkyvä muutos on sähköisten tekstilajien laajempi käyttö, ja myös suomalaisessa lukiokoulutuksessa sekä e-kirjojen että sähköisten oppimisalustojen käyttö on jatkuvasti kasvanut. Samalla myös opiskelijoiden itsenäinen tiedonhaku painottuu yhä enemmän sähköisiin teksteihin perinteisten tietolähteiden kustannuksella. Muutoksen seurauksena on syntynyt tarve tutkia, millaisia kognitiivisia vaikutuksia sähköisten tekstilajien käytöllä on perinteisiin, paperisiin oppimateriaaleihin verrattuna. Tärkeitä tutkimusalueita ovat esimerkiksi sähköisten tekstilajien vaikutus oppimiseen, muistiin, luetunymmärtämiseen ja huomiokykyyn.

3.3.2 Tietotekniikka ja muisti

Tietotekniikan vaikutusta muistiin käsittelevässä tutkimuksessa kaksi tärkeintä kysymystä ovat tiedon ulkoistamisen vaikutus ja tiedon prosessoinnin syvyys. Tiedon ulkoistamisella tarkoitetaan sitä, että tieto on helposti saatavilla ulkoisesta lähteestä. Tätä lähdettä (kuten internetiä, kirjaa tai kylänvanhinta) hyödynnettäessä tarve tiedon muistamiseen ja ulkoa opetteluun on vähäisempi. Siitä, että ulkoistamisella todella on hintansa, vallitsee laaja konsensus. Tutkimustiedon perusteella muistamme tiedon heikommin, jos tiedämme, että se on jossakin muodossa kirjattu ylös tai tallennettu. Stormin ja Stonen tutkimuksessa, jossa koehenkilöiden tehtävänä oli opetella ulkoa kymmenen sanan lista, pelkkä huomautus siitä, että lista hävitetään koetilanteen jälkeen, riitti parempiin muistamistuloksiin. On kuitenkin tärkeää huomata, ettei internet ole ilmiönä uniikki, vaan tiedon ulkoistamista on harjoitettu aina kirjoitustaidon keksimisestä saakka. Pidämme varsin luonnollisena vaikkapa sitä, ettei kalenteria tai julkisen liikenteen aikatauluja opetella ulkoa (Kts. esim. (Marsh & Rajaram, 2019); (Loh & Kanai, 2016)).

Toiseksi tärkeäksi kysymykseksi mainitsimme tiedon prosessoinnin. Väite, että tietotekniikan käyttö johtaa tiedon pintapuoliseen prosessointiin, ei ole täysin perätön. Tiedon hakeminen verkosta edellyttää hakutoiminnon käyttöä ja monesti useiden artikkelien silmäilyä oleellisen tiedon löytämiseksi. Lisäksi sähköiset tekstilajit sisältävät usein hyperlinkkejä ja muita mahdollisesti häiritseviä elementtejä. Seurauksena suurempi osa lukijan kognitiivisista resursseista kohdistuu muihin toimintoihin kuin itse tiedon prosessointiin (Marsh & Rajaram, 2019). Jatkuva pintapuolinen prosessointi tarkoittaa sitä, ettei lukija saavuta syvempää prosessointia sisältävän syvälukemisen tilaa. Internetin ja pintapuolisen prosessoinnin suhdetta koulutuksessa on syytä pohtia, sillä syvälukemisen taito on läpi elämän kehittyvä taito, jota tulisi harjoittaa myös nuoruudessa (Loh & Kanai, 2016). Sähköisen tekstilajin prosessointiin voidaan kuitenkin vaikuttaa oikeilla suunnitteluratkaisuilla, joihin perehdymme tarkemmin luvussa 3.3.3.

Tietotekniikan yleistyminen on johtanut myös moniajon yleistymiseen. Moniajolla tarkoitetaan huomion jakamista ensisijaisen tehtävän sekä yhden tai useamman toissijaisen tehtävän tai ärsykkeen kanssa. Kuten luvussa 4 huomaamme, ilmiö näkyy opettajien arjessa: älylaitteiden ollessa opetustilanteessa jatkuvasti läsnä saattavat opiskelijat keskittää osan huomiostaan esimerkiksi älypuhelimella viestimiseen tai verkon selaamiseen. Loh ja Kanai arvioivat, että tutkimuskirjallisuus tukee vahvasti moniajon yhteyttä heikompiin oppimistuloksiin. Kontrolloiduissa tutkimuksissa moniajoa harjoittaneet oppijat muistivat opittavaan aiheeseensa liittyvää tietoa opetustilanteen jälkeen heikommin kuin oppijat, jotka keskittyivät vain ensisijaiseen tehtäväänsä. Loh ja Kanai kuitenkin huomauttavat, että moniajon haitallista vaikutusta voidaan hillitä hyvillä metakognitiivisilla taidoilla (Loh & Kanai, 2016).

Myös moniajoon liittyvän aivotutkimuksen tulokset ovat huolestuttavia. Just et al. tutkivat moniajon vaikutusta aivoalueiden aktivoitumiseen autoa ajaessa. Tutkimuksessa koehenkilöt osallistuivat (turvallisuussyistä simuloituun) ajotehtävään joko ilman toissijaista kielenymmärrystehtävää tai sen kanssa. Moniajoa harjoittaneiden koehenkilöiden parietaalisten aivoalueiden aktivoitumisten määrä laski 37 % verrattuna muihin koehenkilöihin. Vastaavasti he myös suoriutuivat ensisijaisesta ajotehtävästä heikommin. Toissijaisen auditiivis-kielellisen tehtävän olemassaolo teki näköhavaintoihin ja valppauteen keskittyvistä aivoalueista vähemmän aktiivisia (Loh & Kanai, 2016).

Hakukoneiden käytöstä voi helposti tulla jatkuva tapa. Fergusonin, McLeanin ja Riskon tutkimuksessa koehenkilöt vastasivat nippelitietokysymyksiin niin, että he joko saivat tai eivät saaneet käyttää Googlea apunaan. Koehenkilöt, jotka saivat käyttää Googlea, hyödynsivät sitä jopa kysymyksissä, joihin he olisivat todennäköisesti kyenneet vastaamaan myös itsenäisesti. Stormin et al. tutkimuksessa kolme koehenkilöryhmää vastasi kahdeksaan helppoon kysymykseen niin, että he saivat halutessaan hyödyntää Googlea. Ennen helppoja kysymyksiä ryhmät 1 ja 2 joutuivat kuitenkin vastaamaan kahdeksaan hankalampaan kysymykseen: ryhmä 1 sai hyödyntää Googlea myös tässä, ryhmä 2 ei. Ryhmä 3 vastasi vain helppoihin kysymyksiin. Ryhmän 1 koehenkilöt hyödynsivät Googlea keskimäärin 83 %:ssa helpoista kysymyksistä. Ryhmien 2 (65 %) ja 3 (63 %) luvut olivat huomattavasti matalampia. Vaikuttaa siis, että henkilöt, joille hakukoneiden käytöstä on tullut tapa, hyödyntävät niitä myös tilanteissa, jossa he eivät niitä tarvitse. Ilmiö on hyvin todennäköisesti muistin kannalta haitallinen, sillä aiemmin opetellun tiedon palauttamisen mieleen (tai jopa epäonnistuneen mieleenpalautusyrityksen) tiedetään vahvistavan muistijalkia (Marsh & Rajaram, 2019).

Yleisemmällä tasolla internetin suhteen on esitetty myös huolia virheellisen tiedon leviämisestä – joko puutteellisen ymmärryksen, väärän tulkinnan tai jopa tahallisen vääristelyn seurauksena. Kuten edellä totesimme, verkossa kuka tahansa voi toimia sisällöntuottajana, eivätkä sisällöntuottajan henkilöllisyys tai tämän käyttämät alkuperäiset läh-

teet aina ilmene sisällöstä selkeästi. Esimerkiksi internetin käytetyimpään tietolähteeseen, Wikipediaan, voi kuka tahansa tehdä muokkauksia. Perinteiseen tiedonvälitykseen, kuten kirjoihin ja mediaan, verrattuna internetin luonne tekee virheellisen tiedon julkaisemisesta helpompaa. Marsh ja Rajaram toteavat, että konsensusnäkemysten mukaan verkon avulla virheellinen tieto myös *leviää* aiempaa laajemmalle yleisölle. Muun muassa Hamilton et al. ja Ward esittävät, että ihminen voi helposti omaksua nopealla hakuprosessilla löydetyn tiedon tai näkemysten omakseen (Marsh & Rajaram, 2019). (Eräs aiheeseen liittyvä psykologinen ilmiö on ns. ylivertaisuusvinouma, jossa pinnallinen tieto aiheesta saa henkilön yliarvioimaan ymmärryksensä olevan lähempänä asiantuntijatasoa).

Erään merkittävän kysymyksen muodostaa muistiinpanojen tekeminen tietoteknisiä apuvälineitä hyödyntäen. Muistiinpanot ovat hyvin tyypillinen osa niin opetustilannetta kuin itsenäistä opiskeluakin. Koulutuksen digitalisaation myötä on perinteisestä kynäpaperi -tekniikasta kasvavissa määrin siirrytty muistiinpanojen tekemiseen kannettavalla tietokoneella tai älylaitteella. Mueller ja Oppenheimer toteavat, että tutkimustieto kuitenkin tukee perinteisten menetelmien olevan oppimisen kannalta tehokkaampia – riippumatta siitä, eliminoidaanko tilanteesta häiriötekijöiden mukanaan tuoma mahdollisuus moniajoon vai ei. Heidän mukaansa kannettavalla tietokoneella kirjoitettuihin muistiinpanoihin liittyy taipumus tiedon toistamiseen sanasta sanaan, kun taas käsin kirjoituissa muistiinpanoissa tiedon muotoileminen omin sanoin on yleisempää. Näin muistiinpanojen kirjoittaminen käsin saattaa edellyttää tiedon laajempaa kognitiivista prosessointia (Mueller & Oppenheimer, 2014).

Keskustelu tietotekniikan vaikutuksista muistiin ja ymmärrykseen on tarpeellista, sillä aihealueeseen keskittyvä tutkimustieto nostattaa esiin merkittäviä kysymyksiä. Koulutuspoliittiselta näkökannalta mahdollisuudet vaikuttaa oppijoiden verkon käyttöön ovat kuitenkin rajatut, eikä esimerkiksi paluuta kirjallisuuteen ainoana tietolähteenä voida pitää realistisena – toisaalta verkossa esiintyvän virheellisen tiedon uhkaan voidaan varmasti osaltaan vaikuttaa medialukutaidon opetuksella. Tietotekniikan ja muistin suhdetta voidaan pitää myös arvokysymyksenä: onko helposti saatavilla olevan tiedon ulkoa opettelu itseisarvo, ja voiko tietotekniikka oikein toteutettuna myös vapauttaa kognitiivista kapasiteettiamme suurempien kokonaisuuksien ja periaatteiden ymmärtämiseen? Pohdimme kysymystä tarkemmin luvussa 4. Seuraavaksi keskitymme aihealueeseen, johon vaikutusmahdollisuutemme lienevät suuremmat: sähköisiin tekstilajeihin, kuten lukio-opetuksessa yleisiin e-kirjoihin ja sähköisiin oppimisalustoihin.

3.3.3 Sähköisten tekstilajien vaikutus

Hyperteksti on verkossa yleinen tekstilaji, joka tarkoittaa epälineaarisesti jäsenneltyä sähköistä tekstiä. Siinä missä perinteinen oppikirjateksti on jäsennelty lukujen, otsikoiden ja

alaotsikoiden avulla lineaarisesti eteneväksi kokonaisuudeksi, voivat aiheet hypertextissä kytkeytyä toisiinsa myös linkkien välityksellä ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 18). Hypertexti ei kuitenkaan ole synonyymi verkossa julkaistulle tekstille, eivätkä kaikki sähköiset tekstit ole hypertextejä. Esimerkiksi tämä PDF-dokumentti ei ole hypertexti. Myöskään e-kirja ei ole hypertexti, jos se on rakennettu sähköiseksi versioksi perinteisestä oppikirjasta lisäämättä siihen hypertextille ominaisia piirteitä, kuten linkkejä. Jaottelu hypertextien ja muiden sähköisten tekstien välillä on hyödyllinen, sillä niiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan. On esimerkiksi todennäköistä, että linkitöntä sähköistä tekstiä lukevan oppijan navigointi muistuttaa perinteisen oppikirjatekstin lukemista enemmän kuin epälineaarista hypertextiä lukevan oppijan navigointi.

Aloitetaan tarkastelemalla niitä sähköisiä tekstejä, jotka eivät ole hypertextejä; kutsumme niitä yksinkertaisesti sähköisiksi teksteiksi. Sähköisten tekstien kognitiivisiin vaikutuksiin liittyvä tutkimus keskittyy erityisesti muistiin ja luetunymmärtämiseen. Singer ja Alexander havaitsivat mielenkiintoisen ristiriidan: oppijat arvioivat usein ymmärtävänsä sähköistä tekstiä paremmin kuin perinteistä oppikirjatekstiä,* mutta koetilanteessa luetunymmärtäminen perinteisen oppikirjatekstin kanssa osoittautui tehokkaammaksi. Tutkimuksessa oppijat tunnistivat tekstin pääaiheen yhtä hyvin molempia tekstilajeja käytettäessä, mutta tarkempien yksityiskohtien muistamisessa perinteistä oppikirjatekstiä käyttäneet oppijat osoittautuivat tehokkaammiksi (Singer & Alexander, 2017). Samankaltaiseen tulokseen päätyivät myös Mangen, Walgermo ja Brønneck. Norjalaistutkimuksessa perinteistä oppikirjatekstiä lukeneiden oppijoiden luetunymmärtämistulokset olivat merkittävästi parempia kuin sähköistä tekstiä lukeneilla oppijoilla (Mangen, Walgermo, & Brønneck, 2013).

Luonnollisesti myös hypertextien lukemisesta on tullut monen oppijan arkipäivää, sillä verkosta löydettävä tieto esitetään usein juuri hypertextimuodossa. Perinteisessä oppikirjatekstissä eri aiheiden ja käsitteiden väliset yhteydet määrittävät tekstin järjestyksen, vaikkakaan yhteydet eivät aina ole suoraan nähtävissä ja voivat siten jäädä oppijan itsensä muodostettaviksi. Kognitiivisessa kuormittavuudessa hypertexti menee kuitenkin askeleen pidemmälle, sillä siinä jäsennelty lineaarisuus saattaa puuttua kokonaan ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 18). Jos aiheet ja käsitteet kytkeytyvät toisiinsa linkkien välityksellä, muistuttaa hypertexti hämähäkinseittiä, jonka läpi navigoimisesta tulee poukkoileva prosessi. Verkosta tietoa hakeva oppija käyttää erilaisia hakusanoja, tutkii useita hakutuloksia ja tekee edelleen uusia hakuja selvittääkseen hakutuloksissa esiintyneiden käsitteiden merkityksiä. Oppija joutuu myös jatkuvasti tarkkailemaan löydetyn tiedon oleellisuutta ja luotettavuutta.

*Mielenkiintoinen eroavaisuus tutkimuksessa havaittuun sähköisten materiaalien preferenssiin on, että vuoden 2019 lukiolaisbarometrin mukaan 63 % lukiolaisista ilmoitti lukevansa tietoa mieluummin paperimuodossa kuin älylaitteen tai tietokoneen näytöltä (Lukiolaisbarometri, 2019).

Käsitteiden välisten yhteyksien oivaltamista pidetään yleisesti matemaattisissa aineissa oppimisen kannalta tärkeänä, ja hypertekstin epälineaarinen luonne tekee sen käytöstä kognitiivisesti kuormittavaa ja harjaantumista vaativaa. Melguizo, Madrid ja van Oostendorp havaitsivat, että vähemmän linkkejä sisältävää hypertekstiä lukevat oppijat lukivat tekstin johdonmukaisemmassa järjestyksessä kuin enemmän linkkejä sisältävää hypertekstiä lukevat oppijat. Lisäksi johdonmukaisen järjestyksen valintaa edesauttoi automaattisten linkkiehdotusten mukanaolo lukemisen tukena (Melguizo, Madrid, & van Oostendorp, 2008). Barab, Young ja Wang puolestaan esittivät, että hyperteksteillä on myös positiivinen ominaisuus: vaikka lineaarista tekstiä lukevat oppijat suoriutuvat paremmin luetunymmärtämistehtävistä, suoriutuvat epälineaarista hypertekstiä lukevat oppijat paremmin ongelmanratkaisutehtävistä (Barab, Young, & Wang, 1999).

Itsesäätelyn taito on verkkoa käyttävälle oppijalle äärimmäisen keskeinen. Hypertekstin uhaksi muodostuu loputtomaan yhteyksien verkkoon eksyminen ja siten oppimisessa olennaisen tiedon kadottaminen. Tehokkaasti itsesäätelävä oppija kykenee valvomaan lukemansa materiaalin oleellisuutta ja luotettavuutta sekä onnistuu olemaan ajautumatta sivuraiteille seuratessaan hypertekstin sisältämiä linkkejä, kun taas huonommin itsesäätelävä oppija saattaa linkkiä seuratessaan jatkaa avautuneen sisällön lukemista lineaarisesti ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 45). Uhkaa kasvattaa edelleen se, että suurin osa verkosta löytyvästä sisällöstä ei ole suunnattu opiskelukäyttöön, eikä siten ole rakennettu esimerkiksi itsesäätelyä tukevaksi. Mahdollisia keinoja sähköisen oppimateriaalin rakentamiseksi itsesäätelyä tukevaksi ovat linkkiehdotusten kaltaiset navigaatiotuet sekä itseselittämistä vaativat lyhyet kysymystehtävät.

Eräänä sähköisten oppimateriaalien vahvuutena pidetään usein multimediaformaatteja ja mahdollisuutta esittää asioita useissa esitysmuodoissa. Siinä missä perinteisen oppikirjatekstin esitystapa on sidottu tekstiin, kuviin, kaavioihin ja taulukoihin, voidaan sähköisessä tekstissä käyttää myös videomateriaalia, ääntä, kolmiulotteista materiaalia ja erilaisia simulaatioita. Suomalaisessa lukiokoulutuksessa erilaisten esitystapojen käyttöä on kokeiltu ylioppilaskirjoituksissa asti. Moos ja Stewart toteavat, että useiden esitystapojen käyttö opetuksessa voi auttaa sekä huomion kiinnittämisessä opittavaan asiaan että uuden tiedon omaksumisessa ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 45). Decin ja Ryanin itseohjautuvuusteoriaa käsitellessämme totesimme valinnanvapauden lisäävän motivaatiota. Useiden esitystapojen käyttämisestä saatavat hyödyt kuitenkin konkretisoituvat vain oikein toteutettuna, ja tosiasia on, etteivät oppijat välttämättä hyödynnä tarjottuja esitystapoja toivotulla tavalla. Renklinin et al. mukaan oppijoiden taitotasoon sopimattoman multimedian paljous voi olla oppimisen kannalta jopa vahingollista ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 26). Siksi esitystapojen visuaaliseen ilmeeseen, käytettävyyteen ja vaatimaan taitotasoon tulisi kiinnittää huomiota.

Tutkimustiedon perusteella sähköiset tekstit ja oppimisympäristöt voivat olla hyö-

Oppimista edistävän sähköisen oppimateriaalin piirteitä		
Sopivan matala linkkimäärä	Miellyttävä ja selkeä ulkoasu	Omaehtoisuuden tuet (mm. vaihtoehtoiset tehtävät)
Rakenteelliset tuet (mm. selkeät ohjeistukset)	Kognitiiviset tuet (mm. linkkiehdotukset ja itseselitystehtävät)	Useiden esitystapojen hyödyntäminen

Kuva 3.4: Hyvä sähköinen oppimateriaali ei mukaile perinteistä oppimateriaalia, vaan hyödyntää sähköisten tekstilajien suomia mahdollisuuksia oppimisen tehostamiseksi.

dyksi, jos ne tuovat opetukseen perinteiseen oppimateriaaliin verrattuna jonkinlaista lisäarvoa (Kuva 3.4). Erityisen tärkeäksi osoittautuu sähköisten materiaalien rakentaminen itsesääteilyä tukeviksi, selkeiksi ja oppijoiden taitotasoon sopiviksi; myös useiden esitystapojen hyödyntäminen voi osoittautua hyödylliseksi. Verkkoympäristöjen ei tulisi tehdä oppijasta passiivista tarkkailijaa, jonka tehtävänä on omaksua sopivaan muotoon kiteytettyjä tiedonjyväsia. Kuten edellä totesimme, pelkkä lineaarisen oppikirjatekstin suora kopioiminen sähköiseen muotoon voi tuoda mukanaan kaikki sähköisen tekstilajin haitat ilman niiden potentiaalisia hyötyjä. Luvussa 4 huomaammekin, että perinteisiä oppikirjatekstejä mukailevat e-kirjat ovat opettajien yleinen kritiikin aihe.

3.4 Digitaalinen ongelmanratkaisija

3.4.1 Symbolinen laskenta: perustaitojen ulkoistamista?

Symbolisen laskennan piiriin luetaan ohjelmistot ja fyysiset laskimet, jotka kykenevät käsittelemään matemaattisia lausekkeita symbolisesti annetussa muodossa. Suomalaisessa lukiokoulutuksessa symbolista laskentaa edustavat GeoGebran, TI-Nspiren ja Casio ClassPadin kaltaiset laskenta- ja piirto-ohjelmistot, jotka kykenevät ratkaisemaan algoritmisesti erilaisten yhtälöiden muuttujia. Graafinen laskin puolestaan tarkoittaa laskinta, joka kykenee piirtämään erilaisten funktioiden kuvaajia. Moni symbolisen laskennan oh-

jelmisto, mukaan lukien kaikki kolme edellä mainittua ohjelmistoa, edustaa siten myös graafista laskentaa. Sen sijaan perinteisiä, pelkkiin numeerisiin laskutoimituksiin kykeneviä taskulaskimia ei lueta symboliseen tai graafiseen laskentaan kuuluviksi.

Hakukoneiden tapaan myös symbolisen laskennan laaja opetuskäyttö on herättänyt kysymyksiä kognitiivisten toimintojen (tässä tapauksessa matemaattisten perustaitojen) ulkoistamisesta. Kuten luvussa 2.3 totesimme, on huoliin reagoitu muun muassa jakamalla matematiikan ylioppilaskoe erillisiin A- ja B-osiin, joista A-osa suoritetaan rajoitetuilla työkaluilla. Symboliseen laskennan oppimisvaikutuksiin liittyvää tutkimustietoa voidaan kuvailla suhteellisen positiiviseksi, vaikkakin monesta tekijästä riippuvaiseksi ja kontekstisidonnaiseksi. Lisäksi symbolisen laskennan ja aritmeettisten taitojen välinen yhteys muodostaa mahdollisen merkittävän poikkeuksen.

Burrill et al. kokoavat yhteen graafisten laskinten käyttöön liittyvää tutkimustietoa. Heidän synteesissään todetaan, että graafisten laskinten käyttö vaikuttaa edistävän funktion ja muuttujan käsitteiden ymmärtämistä, kuvaajien tulkitsemista sekä soveltavien algebrallisten ongelmien ratkaisemista. Graafisia laskimia käyttävien oppijoiden todettiin tutkivan kuvaajien ja matemaattisten lausekkeiden käyttäytymistä itsenäisesti laskimia käyttämättömiä oppijoita useammin. Toisaalta synteesin havaintojen perusteella graafisten laskinten käyttö saattaa syventää joitakin matemaattisia virhekäsityksiä, kuten rationaaliluvun ja reaalityluvun käsitteiden eroa. Lisäksi graafisia laskimia käyttävät oppijat hyväksyivät joskus laskimen antamia virheellisiä tuloksia pohtimatta kriittisesti tuloksen järkevyyttä – menettelytapa, joka voi viitata syvällisen matemaattisen ymmärryksen puutteeseen (Burrill et al., 2002).

Hakukoneiden käytön kognitiivisia vaikutuksia käsitellessämme pohdimme mahdollisuutta, että käyttö muuttuisi jatkuvaksi tavaksi myös sellaisessa tilanteessa, missä oppija ei hakukonetta varsinaisesti tarvitsisi. Reed, Drijvers ja Kirschner havaitsivat, että hyvin suoriutuvat, tietoteknisiin apuvälineisiin positiivisemmin suhtautuvat opiskelijat saavuttivat matematiikassa heikompia oppimistuloksia kuin hyvin suoriutuvat, mutta tietotekniikan suhteen kriittisemmät opiskelijat. Reed, Drijvers ja Kirschner spekuloidivat, että rakentavan suhteen muodostaminen tietoteknisiin apuvälineisiin voi olla niihin kiintyneille opiskelijoille hankalampaa (Reed, Drijvers, & Kirschner, 2010). Symbolisen laskennan ja teoreettisen tiedon tulisi tukea toisiaan: jos toisen asteen yhtälöiden opetus alkaa laskimen ratkaisutoiminnon käytöstä, voi opiskelijoille olla hankala muodostaa käsitystä yhtälön matemaattisista ominaisuuksista.

Laskinten runsaan käytön tiedetään korreloivan heikompien aritmeettisten taitojen kanssa, ja niiden helpon saatavuuden on epäilty vaikeuttaneen lasten päässä laskutaitojen kehittymistä. Pyke ja LeFevre toteavat, että tiedon palauttaminen mieleen on muistin tapaan hyväksi myös aritmeettisten toimintojen kehitykselle. Tiedon hakeminen ulkoisesta lähteestä (kuten aritmeettisen ongelman vastauksen hakeminen laskentaohjelmistosta)

jättää vähäisemmän muistijäljen. Pyken ja LeFevren tutkimuksessa aikuiset harjoittelivat heille ennestään vieraita aritmeettisia ongelmia joko päässä laskuna, laskinta käyttäen tai hybridimallina niin, että laskimen sai ottaa käyttöön päässä lasku-rytyksen epäonnistuttua. Harjoittelun päätteeksi koehenkilöille järjestettiin kokonaan päässä laskuna suoritettava koe, josta he olivat myös kaiken aikaa tietoisia. Huonoiten kokeesta suoriutuivat vain laskimella harjoitelleet koehenkilöt. Päässä laskuna ja hybridimallina harjoitelleiden koehenkilöiden suoriutumisessa ei havaittu eroja (Pyke & LeFevre, 2011).

Symbolisen laskennan laajasta opetuskäytöstä ja sen vaikutuksista oppijoiden aritmeettisiin taitoihin voidaankin kysyä, onko päässä laskutaito muuttunut epäolennaiseksi laskentaohjelmistojen aikakaudella, vai voiko sen puuttellisuudella olla syvempiä vaikutuksia matematiikan ymmärtämiseen kokonaisuutena. Nunes et al. tutkivat kahden erilisen tekijän, matemaattisen päättelyn ja aritmeettisten taitojen, vaikutusta lasten matematiikan oppimistuloksiin. Merkittävämmäksi lasten oppimista ennustavaksi tekijäksi todettiin matemaattinen päättely, mutta aritmeettisellä komponentilla havaittiin silti olevan itsenäinen, joskin vähäisempi, vaikutus (Nunes et al., 2011). Siksi symboliseen laskentaan voikin olla viisainta suhtautua pikemminkin apuvälineenä kuin itse opetussisältönä. Vaikka hidastemposten ja vähemmän olennaisten välivaiheiden ohittaminen symbolisella laskennalla voi joskus olla pedagogisesti mielekästä, on opiskelijoiden syvemmän matemaattisen ymmärryksen muodostamiseksi silti tärkeää ymmärtää tehtävän taustalla vaikuttavat matemaattiset periaatteet.

3.4.2 Tietokoneohjelma tuutorina

Viimeisenä koulutuksen digitalisaation avaavana mahdollisuutena mainitsemme automaattiset tuutorointiohjelmat. Automaattinen tuutorointiohjelma on digitaalinen oppimisympäristö, joka voi neuvoa oppijoita ja kykenee näin ollen toimimaan tietynlaisena toimintoiltaan rajoitettuna apuopettajana. Automaattisia tuutorointiohjelmia on monenlaisia, ja niiden tehokkuudesta on tehty paljon tutkimusta. Yksinkertaisimmillaan tuutorointiominaisuus voi tarkoittaa esimerkiksi malliesimerkkejä sisältäviä videoita tai oppijalle ongelmanratkaisuprosessin aikana pyynnöstä annettavia vihjeitä. Jotkut tuutorointiohjelmat voivat myös antaa oppijalle aktiivista palautetta ongelmanratkaisuprosessin aikana (esimerkiksi tämän vastatessa tehtävään väärin), tai ohjeistamaan oppijaa vaihe vaiheelta matemaattisen operaation toteuttamisessa. Suomalaisessa lukiokoulutuksessa automaattiset tuutorointiohjelmat eivät tällä hetkellä ole laajassa käytössä.

Avun hankkiminen on oppimisen kannalta tärkeä taito. Useimmiten se ilmenee tilanteissa, joissa oppija havaitsee, ettei hänen oma osaamisensa riitä tietyssä tehtävässä suoriutumiseen.* Avun hankkimisen taito kuuluu itsesäätelyn piiriin, sillä se sisältää tie-

*Tässä yhteydessä *tehtävä* ei viittaa vain oppikirjan harjoitustehtävään. Sen sijaan sanalla tarkoitetaan

toisen oppimisprosessiin liittyvän valinnan. *Jatkanko vielä tehtävän yrittämistä itse, vai hankinto sen suorittamiseksi ulkoista apua?* Hankittava ulkoinen apu voi tulla esimerkiksi opettajalta tai tietoviisaalta luokkatoverilta, mutta myös oppikirjan lukeminen tai lyhyen YouTube-videon katsominen pulmatilanteessa on avun hankkimista ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 21). Edellä mainittuihin avun muotoihin ei kuitenkaan sisälly samankaltaista vuorovaikutteisuutta kuin opettajalta saatuun apuun. Tästä johtuen automaattiset tuutorointiohjelmat avaavat kiinnostavia mahdollisuuksia. Voisiko oppija saada tietokoneohjelmalta edes osittain interaktiivista apua tilanteissa, joissa opettaja ei ole paikalla tai esimerkiksi neuvoa toista oppijaa?

Automaattiset tuutorointiohjelmat kykenevät ohjaamaan oppijoita tietyn ohjelman ratkaisussa vaihe vaiheelta. Ohjaukseen voi sisältyä esimerkiksi jatkuva palaute siitä, onko oppija suorittanut tietyn vaiheen oikein, ja pyydettyäessä saatavilla olevat vihjeet. Usein vihjeet on myös jaettu erilaisiin tasoihin. Oppijalle ensimmäiseksi annettava vihje voi olla vaikkapa viittaus johonkin yleiseen periaatteeseen, jota vaiheessa tulisi hyödyntää. Jos oppija pyytää lisää vihjeitä, voivat ne tuutorointiohjelmasta riippuen edetä ratkaisun kannalta keskeisen osan painottamisesta aina suoraan vastauksen antamiseen asti. Tuutorointiohjelmaa käyttävä oppija joutuu harjoittamaan jatkuvaa itsesäätelyä tehdesään päätöksiä vihjeiden hyödyntämisestä ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 21). Edistyneemmät automaattiset tuutorointiohjelmat, nk. *kognitiiviset tuutorit*, kykenevät myös seuraamaan oppijan taitotasoa ja antamaan tälle ratkaistavaksi taitotason mukaan räätälöityjä ongelmia. Corbett, McLaughlin ja Scarpinato havainnoivat, että tietokoneavusteinen taitotasoon mukauttaminen voi johtaa huomattavastikin parempiin oppimistuloksiin (Corbett, McLaughlin, & Scarpinato, 2000).

Yleisemmällä tasolla automaattisia tuutorointiohjelmia käsittelevä tutkimustieto ei kuitenkaan ole suoraviivaista, ja niiden positiiviseen vaikutukseen voidaan vähintäänkin liittää useita *jos*-ehtoja. Tuutorointiohjelmien antamia vihjeitä koskevaa tutkimusta yhteen koonnut Aleven toteaa, että heikotasoisemmilla (ja vastaavasti eniten avun tarpeessa olevilla) oppijoilla on eniten hankaluuksia vihjeiden hyödyntämisessä, minkä voisimme aiempien huomioidemme valossa tulkita johtuvan puutteellisista itsesäätelyn taidoista. Jotkut oppijat saattavat myös väärinkäyttää vihjeitä saadakseen vastauksen välittömästi. Tutkimustietoa vihjeitä pyydettyäessä antavien tuutorointiohjelmien positiivisesta vaikutuksesta on, vaikkakin sitä voidaan pitää puutteellisena. Erityisesti varmuus vihjeiden ja tehokkaamman oppimisen syy-seuraussuhteesta puuttuu, sisältäähän suuri osa tuutorointiohjelmista myös jatkuvaa palautetta. Kenties hieman arkijärjen vastaisesti myös suoran vastauksen antavien vihjeiden käytöllä on havaittu olevan positiivinen vaikutus oppimistuloksiin. Aleven esittää mahdolliseksi selitykseksi, että vastauksen saavat oppijat itseselittävät oma-aloitteisesti, miksi vihjeen ehdottama vastaus on oikea ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 21). Täten laajempaa merkitystä suoritettavana toimintona. Tätä vastaa esimerkiksi englannin kielen sana *task*.

2013): Luku 21).

Vihjeiden lisäksi toinen automaattisten tuutorointiohjelmien tärkeä ominaisuus on ohjelman antama palaute. Kuinka yksilöllistä ja personoitua palautetta ohjelman tulisi oppijoille antaa, ja millaisissa tilanteissa? Beal toteaa, että yksilöllistämisen tason ollessa korkea oppijat ovat usein samaa mieltä saamansa palautteen kanssa, mutteivät kuitenkaan pidä ajatuksesta, että ohjelma ”seuraa” ja ”analysoi” heidän edistymistään jatkuvasti ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 22). Näin ratkaisua vailla olevaksi kysymykseksi muodostuu se, onko mahdollista säilyttää sekä palautteen yksilöllisyys että oppijan omaehtoisuuden tunne. Toinen avoin kysymys liittyy siihen, millaisissa tilanteissa tuutorointiohjelman tulisi antaa oppijoille palautetta. Litman ja Forbes-Riley ovat tutkineet tuutorointiohjelman varianttia, jossa palaute ei liity vain vääriin vastauksiin, vaan myös epävarmuuteen. Tutkimuksessa käytetty ohjelma kykeni puheentunnistukseen ja saattoi siten tunnistaa, missä tilanteissa oppija osoitti epävarmuutta vastauksestaan. Tutkimuksessa ei kuitenkaan tullut ilmi ratkaisevia todisteita epävarmuuteen reagoimisen hyödyistä ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 25).

Kappaleessa 3.1 totesimme itseselittämisen matemaattisten aineiden kannalta huomattavan keskeiseksi metakognitiiviseksi taidoksi. Pohtiessamme itsesääätelyä edistävien sähköisten oppimateriaalien rakentamista eräs ratkaisuehdotuksemme oli lyhyet, itseselittämistä vaativat tehtävät. Samaa lähestymistapaa voisi olla mahdollista soveltaa automaattisiin tuutorointiohjelmiin, kenties vielä pidemmälle vietyinä. Yksinkertaisimmillaan itseselitystehtävä on vain tehtävän lopussa esitettävä kysymys: *Kuinka päädyit tähän ratkaisuun?* Vastaavien yksinkertaisten itseselitystehtävien esittäminen jokaisen ratkaistun tehtävän jälkeen ei kuitenkaan ole kaikkien oppijoiden kohdalla tarkoituksenmukaista, ja saattaa päin vastoin häiritä luonnollista itseselittämisprosessia. Automaattiset tuutorointiohjelmat mahdollistavat itseselitystehtävien yksilöllistämisen vihjeiden ja palautteen tapaan. Näin ohjelma voi tehdä tulkintoja oppijan metakognitiivisen tuen tarpeesta ja tarjota sitä esimerkiksi, jos oppija tekee virheen tai on ratkaisemassa tehtävätyyppiä ensimmäistä kertaa. Vaikka myös perinteisten itseselitystehtävien hyödyistä on vahvaa näyttöä, esittää Conati heikkotasoisempien oppijoiden hyötyvän yksilöllistämisestä eniten ((Azevedo & Aleven, 2013): Luku 24). Oppijan omaehtoisuuden säilyttäminen osoitautuu tärkeäksi näkökannaksi myös liitettäessä itseselitystehtäviä osaksi sähköistä oppimisympäristöä.

4. Opettajien näkemyksiä

4.1 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Tätä tutkielmaa varten haastateltiin tapaustutkimuksena viisi lukiossa työskentelevää fyysiikan ja matematiikan opettajaa. Haastattelut toteutettiin videohaastatteluina loppukeväästä 2020. Niistä säästettiin tallenteet, joiden pohjalta haastateltavien vastaukset haastattelukysymyksiin litteroitiin. Kyseiset litteroinnit muodostavat tutkimuksen aineiston, jota luvussa 4.3 analysoidaan laadullisesti. Haastattelukysymykset käsittelevät koulutuksen digitalisaation ilmenemistä nykylukiossa, ja kytkeytyvät siten luvuissa 2 ja 3 esiin nousseisiin teemoihin. Haastattelukysymykset on kirjattu liitteeseen A.

Haastattelukutsu lähetettiin sähköisen kyselylomakkeen muodossa niille Uudenmaan alueen suomenkielisissä lukioissa työskenteleville fyysiikan ja matematiikan opettajille, joiden yhteystiedot olivat verkossa saatavilla. Kutsun yhteydessä opettajilta kysyttiin heidän opetettavia aineitaan, työuran pituuttaan ja arviota omista digitaaloistaan (asteikolla aloittelija-keskitaso-edistynyt). Viiden opettajan haastatteluotos valittiin kyselylomakkeeseen vastanneiden opettajien joukosta niin, että he eroaisivat mahdollisimman paljon sekä opetettavilta aineiltaan että työuran pituuksiltaan. Aineistoa käsitellessämme erottelemme eri haastateltavat toisistaan numeroin 1–5, esimerkiksi ”opettaja 4”. Haastateltavien taustatiedot kuvataan taulukossa 4.1.

Haastattelukysymyksiä oli yhteensä 26, ja ne käsittelivät esimerkiksi tietotekniikan näkymistä opettajien omassa opetuksessa, sähköisiä ylioppilaskokeita, tietotekniikan kognitiivisten vaikutusten ilmenemistä arkielämässä sekä koulutuksen digitalisaation aikataulua. Osa kysymyksistä oli suunnattu vain fyysiikan ja osa vain matematiikan opettajille. Haastattelut olivat vapaamuotoisia, ja haastateltavilta kysyttiin tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä, jos niiden esittäminen koettiin aiheen käsittelyn kannalta hyödylliseksi. Vastaavasti kysymyksiä jätettiin myös pois, jos niiden esittämistä ei voitu pitää haastateltavien aiempien vastausten perusteella mielekkäänä. Haastattelujen pituudet vaihtelivat 45 minuutin ja puolentoista tunnin välillä. Niiden tavoitteena oli antaa haastateltaville aikaa pohtia vastauksiaan ja kuvailla omia kokemuksiaan sen sijaan, että haastattelukysymysten jatkuva sarja koettaisiin painostavaksi.

Vastausten litterointi toteutettiin pääasiassa ns. yleiskielisenä litterointina. Näin ol-

Haastateltava	Opetettavat aineet	Työuran pituus	Arvio omista digitaidoista
1.	Matematiikka	10-19 vuotta	Keskitaso
2.	Fysiikka Matematiikka	3-5 vuotta	Keskitaso
3.	Fysiikka	6-9 vuotta	Keskitaso
4.	Matematiikka	6-9 vuotta	Keskitaso
5.	Matematiikka	Yli 20 vuotta	Keskitaso

Kuva 4.1: Tutkimuksessa haastateltujen opettajien taustatiedot.

len aineistosta poimittuja sitaatteja on muokattu yleiskielen normien mukaiseksi, ja siitä on poistettu esimerkiksi äännähdyksiä ja puhumisvirheitä. Tyypillisestä yleiskielisestä litteroinnista poiketen myös vastausten sanajärjestystä on joissain tapauksissa voitu muokata sitaattien luettavuuden parantamiseksi. Pidän menetelmän käyttöä perusteltuna, sillä tutkimuksen tarkoituksena ei ole vastausten kielellinen analyysi, vaan tarkoituksemme on keskittyä niiden varsinaiseen asiasisältöön. Litteroinnissa on pyritty vastausten alkupe-
räisen merkityksen tarkkaan säilyttämiseen. Sitaatteihin on merkitty myös kohdat, joissa osa vastauksesta on leikattu pois.

Kuten aineistoa käsitellessämme huomaamme, haastatteluotos osoittautui mielipiteiltään varsin kirjavaksi. Esimerkiksi haastateltavien suhtautuminen koulutuksen digitalisaatioon vaihteli vastentahtoisuudesta käytännöllisen pragmatismiin kautta selkeään myönteisyyteen. Myös haastateltavien eripituiset työurat nousevat aineistossa esille vanhempien ja nuorempien opettajien erilaisina kokemusmaailmoina. Erityisesti haastateltavien opettajankoulutuksessa saamissa tietoteknisissä valmiuksissa oli eroja. Kaikesta huolimatta myös kysymyksiä, joissa haastateltavien näkemykset olivat varsin yhteneviä, esiintyy aineistossa.

4.2 Tutkimuksen rajoitteet

Tutkimuksemme törmää varsin tyypillisiin tapaustutkimukseen liittyviin rajoitteisiin. Tutkimuksen haastatteluotos koostuu viidestä opettajasta, ja aineisto kyseisten viiden opettajan litteroiduista vastauksista. Haastatteluotosta ei luonnollisesti voida pitää millään muotoa suomalaisten lukiossa työskentelevien fysiikan ja matematiikan opettajien näkemyksiä edustavana. Sen sijaan se edustaa yksinomaan jo alkujaan hyvin rajallises-
ta, haastattelukutsuun vastanneiden opettajien joukosta valittujen viiden opettajan näkemyksiä. Aineistoa käsitellessämme voimme kommentoida sitä lauseen ”kolme haastateltavaa suhtautui sähköisiin oppikirjoihin positiivisesti ja kaksi negatiivisesti” kaltaisilla huomioilla. Vastaavia huomioita ei kuitenkaan ole tarkoitettu yleistettäväksi suurempia

joukkoja koskeviksi tilastollisiksi tosiasioiksi – esimerkiksi edellinen huomio ei implikoi, että kolme viidestä opettajasta suhtautuisi sähköisiin oppikirjoihin myönteisesti.

Tämän lisäksi rajoitteita nousee tavasta, jolla haastatteluotos valittiin. Kuten edellä totesimme, haastattelukutsu lähetettiin niille Uudenmaan alueen suomenkielisissä lukioissa työskenteleville fysiikan ja matematiikan opettajille, joiden sähköpostiosoite oli verkossa saatavilla. Näin ollen haastatteluotos ei kuvaa lukiodien alueellisia eroavaisuuksia, eikä sisällä ruotsin- tai vieraskielisten opettajien näkökulmia. Työuran pituudeltaan opettajat kuitenkin eroavat taulukon 4.1 osoittamamalla tavalla. Sukupuoleltaan kaksi opettajista oli naisia ja kolme miehiä. Opetettavilta aineiltaan kolme opettajista opetti matematiikkaa, yksi fysiikkaa ja yksi molempia aineita. Näin ollen matematiikan opettajien edustus on haastatteluotoksessa fysiikan opettajia suurempi. Ideaalitulanteessa toivottavaa olisi ollut sisällyttää haastatteluotokseen kaksi matematiikan, kaksi fysiikan ja yksi molempien aineiden opettaja. Haastattelukutsuun vastanneiden opettajien määrästä johtuen oli kuitenkin matematiikan opettajien osuutta kasvatettava, jotta työuran pituuksien vaihtelu olisi haastatteluotoksessa suurempaa.

Haastattelukutsussa opettajia pyydettiin myös arvioimaan omia digitaitojaan joko aloittelijoiksi, keskitason käyttäjiksi tai edistyneiksi käyttäjiksi. Aloittelijoiksi tai edistyneiksi käyttäjiksi itsensä määritelleiden opettajien näkemyksiä ei aineistossa esiinny, sillä jokainen vastaaja määritteli itsensä keskitason käyttäjäksi. Lopuksi on huomioitava myös mahdollisuus, että haastattelukutsuun vastasivat opettajat, joiden suhtautuminen digitalisaatioon oli keskimääräistä voimakkaampaa (oli se sitten positiivista tai negatiivista). Voimakkaita mielipiteitä aineistossa todella esiintyy. Tästä huolimatta on muistettava, ettei haastattelujen tarkoituksena ole tilastollinen analyysi, vaan lisäarvon tuottaminen lukujen 2–3 kirjallisuuskatsaukselle. Haluamme aineiston käsittelyn muodostavan aiemmin tekemillemme havainnoille kosketuspinnan reaali maailmaan – oli se sitten puutteellinen tai ei. Tutkimustietoon perustuvakin uudistus voi joutua vaikeuksiin, jos sen toteuttamisessa ei huomioida reaali maailman vaatimuksia.

4.3 Havaintoja aineistosta

4.3.1 Tietotekniikka on erottamaton osa opetusta

Luvussa 2.1.2 käsitelimme tietotekniikan laajaa levinneisyyttä lukiokoulutuksessa, ja totesimme kyselytutkimusten perusteella sen käytön olevan erittäin monen lukion arkipäivää. Kiinnitimme huomiota myös tietotekniikan omaksumisen nopeaan kasvuun määrittämässämme digitalisaation murrosvaiheessa vuosina 2005–2020. Näiden havaintojen kanssa jokaisen haastateltavan näkemykset olivat linjassa. Haastateltavat kuvailivat lukiodensa tietotekniisiä valmiuksia hyviksi, ja erityisesti älytaulujen ja kannettavien tietokoneiden

mukanaoloa jokaisella tunnilla painotettiin. Opettaja 4 totesi:

”Opiskelijoilla on oltava omat kannettavat tietokoneet. Kyseessä on lukion puolelta tuleva vaatimus. Joissain töissä käytämme myös älypuhelinta, ja kurssikokeet tehdään tietokoneella.”

Opettajan 2 mukaan lukion tietotekniset valmiudet olivat paremmat kuin henkilöstön valmiudet käyttää tietotekniikkaa:

”Olemme juuri muuttaneet uusiin tiloihin, ja välineet ovat tuliterät. Välineet on hankittu kaupungin kautta. Teknologiaa löytyy, ja valmius on paremmalla tasolla kuin henkilöstön valmius.”

Myös siitä, kuinka paljon haastateltavat käyttävivät tietotekniikkaa omilla oppitunneillaan, olivat he varsin yksimielisiä. Tietotekniikan käyttöä kuvailtiin ilmaisuilla *jatkuvasti, todella paljon* ja *jatkuvasti läsnä*. Haastateltavat mainitsivat esimerkiksi sähköiset oppimateriaalit, fysiikan mittausohjelmistot ja ylioppilaskokeissa käytettävien ohjelmistojen harjoittelemisen. Myös tietoteknisten valmiuksien mahdollistama sujuva siirtymä etäopetukseen koronaviruspandemian aikana sai kiitosta.

Kaikki haastateltavat ilmoittivat myös järjestävänsä sähköisiä kokeita. Osa heistä kuitenkin huomautti, että erityisesti FY1-kurssilla ja yhteisessä MAY1-opintokokonaisuudessa paperisia kokeita saattoi edelleen esiintyä. Eräs haastateltava ilmoitti sähköisten kokeiden pitämisen olevan lukiossaan opettajan oman harkinnan varassa, vaikka suurin osa opettajista toteutti kokeet sähköisinä. Sähköisten kokeiden teknistä toteuttamista pidettiin vähintäänkin kohtalaisena, ja hankaluuksia todettiin esiintyvän erityisesti tietokoneiden käynnistämisessä, Abitti-verkkoon kirjautumisessa ja etäkokeiden valvontajärjestelyissä. Opettaja 5 totesi:

”Ongelmia on yhtä paljon kuin paperikokeissa. Joltain katkeaa aina kynä tai netti. [...] Prosentuaalisesti useammin hukassa on konseptipaperit kuin yksikään tiedosto.”

Opettaja 1 puolestaan huomautti:

”Sähköisissä kokeissa on paljon ongelmia koneiden käynnistämisessä, ja koneen aloittaminen viivästyy aina usealla opiskelijalla. [...] Auki olevia varakoneita tulisi aina olla ennen kokeen aloittamista.”

Eräs haastatteluissa ilmenevä havainto oli opettajien erilaiset menetelmät tietotekniikan tuomisessa osaksi opetusta. Vaikka haastateltavat näkivät tietotekniikan välttämättömyytenä erityisesti ylioppilaskokeisiin valmistautumisen takia, ilmaisi osa heistä suhtautuvansa

tietotekniikkaan vapaaehtoisena apuvälineenä, jonka käytön määrään opiskelijoiden tulee saada itse vaikuttaa. Näin opiskelijat joutuvat tekemään tietotekniikan käytöstä itsesääntelyn piiriin kuuluvia valintoja. Opettaja 4 totesi:

”Tietotekniikka on tunneilla jatkuvasti läsnä, erityisesti ylioppilaskokeisiin harjoittelussa. Elämme silti edelleen siirtymäkautta. Tietokonetta saa käyttää laskimena ja apuvälineenä jokaisella tunnilla, vaikka opettaja ei ohjeistaisikaan.”

Opettaja 2 ilmoitti painotti ottavansa tietotekniikkaa mukaan opetukseen oman esimerkin kautta:

”Opiskelijoille annetaan mahdollisuus tehdä, miten haluavat. Jotkut valitsevat kynän ja paperin, mutta tietotekniikan käyttöä on silti pakko joskus opiskella ylioppilaskokeiden takia. Silti luotan vapaaseen valintaan. Esitän kaikki malliratkaisut sähköisesti ja toimin esimerkin kautta: opiskelijat näkevät, kun opettaja näyttää, kuinka helppoa tietotekniikan käyttö on.”

Lähestymistapa lienee pedagogisesti mielekäs. Luvussa 3.2.2 käsittelimme Decin ja Ryanin itseohjautuvuusteoriaa, jonka mukaan omaehtoisuuden kokemus on yksi kolmesta motivaatioon vaikuttavasta psykologisesta perustarpeesta. Onko uhkana kuitenkin se, että opiskelijat joutuvat eriarvoiseen asemaan ylioppilaskokeissa, jos tietotekniikan käyttö osalla heistä on vähäistä tai lähes olematonta? Tätä kysymystä käsittelemme tulevilla havainnoilla.

4.3.2 Tietotekniikan omaksuminen edellyttää aktiivisuutta

Luvussa 2.1.2 käsittelimme myös opettajien täydennyskoulutuksiin liittyviä kyselytutkimuksia. Totesimme, että vaikka lähes kaikille lukion opettajille oli järjestetty tietotekniikan käyttöön liittyvää täydennyskoulutusta, piti enemmistö opettajista saamansa täydennyskoulutuksen määrää riittämättömänä. Haastateltavien näkemykset tukivat havaintoa, ja työnantajan järjestämän täydennyskoulutuksen määrä oli yleinen digitalisaatioon liittyvä kritiikin aihe. Kaksi haastateltavista ilmoitti, että täydennyskoulutuksia oli järjestetty vain yksi. Yksi haastateltava ilmoitti, että täydennyskoulutuksia ei ollut järjestetty lainkaan. Opettaja 2, jonka valmistumisesta oli suhteellisen vähän aikaa (työuran pituus 3-5 vuotta), kritisoi myös aineenopettajakoulutusta:

”Yliopistossa aineenopettajaopintojen yhteydessä ei puhuttu mitään, vaikka oli tiedossa, että kokeet sähköistetään. Muitakaan koulutuksia ei järjestetty.”

Opettaja 3 kertoi, että täydennyskoulutuksia järjestettiin vain yksi, ja digitalisaation murrosvaiheeseen sopeutuminen oli lähinnä ”*kollegoiden kanssa miettimistä*”. Opettaja 5 toteasi kouluttautuneensa vapaavalintaisesti harrastuspohjalta. Opettaja 4 esitti hieman poikkeavan näkemyksen, ja kehui täydennyskoulutusten tarjontaa. Häinkin kuitenkin ilmoitti koulutusten olleen lähinnä vapaavalintaisia:

”Koulutusta on ollut. Järjestöt kuten MAOL ja laskinten toimittajat puhuivat eri yhteyksissä jo monta vuotta etukäteen. Koulutuksia on ollut laidasta laitaan: sähköisistä oppikirjoista, Helsingin yliopisto järjesti GeoGebran käyttökoulutuksen, paljon tarjoilla. Työnantajan puolesta koulutuksia ei ollut juurikaan.”

Hän tiivistäi kokemuksensa seuraavasti:

”Jos ei itse aktiivisesti hae mukaan koulutukseen, jää kaikki itse opeteltavaksi. [...] Silti ei tunnu, että olisi jäänyt tyhjään alle.”

Opettaja 1 suhtautui täydennyskoulutusten tarjontaan kriittisemmin. Hän kuvaili tietotekniikan käytön omaksumista hankalaksi, sillä oli ollut matematiikan ylioppilaskokeiden sähköistyessä vanhempainvapaalla:

”Ylioppilaskokeet sähköistettiin, kun olin itse äitiyslomalla, ja kouluun palatessa paljon oli muuttunut. Tämä tuotti vaikeuksia tekniikan käytön omaksumiseen. Eräällä kurssilla jouduin jättämään yhtälöryhmien ratkaisemisen opetuksen seuraavalle kurssille, koska en osannut tehdä sitä tietokoneella enkä ollut saanut asiaan koulutusta. [...] Palattuani äitiyslomalta tein paperikokeita ja käytin liitutaulua muiden opettajien jo osatessa enemmän, koska asiat putosivat nopeasti päälle.”

Myös sukupolvien välinen kuilu tietotekniikan omaksumisessa puhutti haastateltavia. Huolta kannettiin erityisesti siitä, kykenevätkö vanhemmat opettajat selostamaan tietotekniikan käytön opiskelijoille riittävän hyvin. Opettaja 2 sanoi havainneensa monen vanhemman opettajan tottuneen ”*liitutaulu ja viittaaminen -tyyliin*”. Toisaalta opettaja 5 esitti aiheesta poikkeavan näkemyksen:

”Mielestäni nelikymppiset ovat voineet omaksua tekniikan jopa muita paremmin, sillä omassa koulutuksessani perusasioiden haltuunottoa painotettiin paljon. Olen ollut atk-kerhossa ja joutunut suorittamaan atk-ajokortin saadakseni henkilökohtaisen läppärin. Nykyään oletetaan, että tiedetään kaikki, mutta eihän sitä voi tietää, jos kukaan ei kerro.”

Hän jatkoi toteamalla, että tietotekniikka valinnaisena oppiaineena hänen omana lukio-aikanaan auttoi tietotekniikan omaksumisessa, ja esitti näkemyksen, ettei opiskelijoilla nykyään ole aikaa tietotekniikan opiskeluun pakollisten kurssien määrästä johtuen. Haastateltava myös arvioi, että moni puute nuoremman sukupolven perustaidoissa voi jäädä huomioimatta, sillä heidän oletetaan osaavan kaiken luonnostaan.

4.3.3 Opiskelijoiden tietotekniikan omaksuminen pääpiirteittäin hyvää, eroja taitotasossa ja suhtautumisessa

Kaikki haastateltavat pitivät opiskelijoiden tietotekniikan omaksumisen tasoa pääpiirteittäin hyvänä, ja opiskelijoita kuvailtiin muun muassa *näppäriksi* ja *diginatiiveiksi*. Tämä on linjassa aiemmin tarkastelemiemme opiskelijoilla toteutettujen, yleisesti positiivisten kyselytutkimusten kanssa. Myös kyselytutkimuksissa esiintyi kuitenkin joukko opiskelijoita, joiden mielestä lukiokoulutus joko ei tukenut nykyaikaisten taitojen oppimista, tai jotka eivät olleet varmoja annetusta väittämästä. Opettaja 3 ilmoitti havainneensa puutteita opiskelijoiden tietoteknisissä perustaidoissa:

”Käyttö on omaksuttu nopeasti. Peruskäyttötaitoissa, kuten tiedostojen tallentamisessa, ilmenee kuitenkin joskus haasteita. Koska erilaisia ohjelmistoja on käytössä hyvin paljon, myös työskarkaa on paljon. Parhaat vinkit [tietotekniikan käyttöön] tulevat opiskelijoilta!”

Opettaja 5 puolestaan totesi, että opiskelijoiden tietotekninen taitotaso lukion alussa vaihtelee merkittävästi. Hänen mukaansa taitotasoon vaikuttaa varustelutaso ja älylaitteiden mahdollinen käyttö yläkouluissa:

”Taitotaso lukioon tultaessa vaihtelee paljon sen mukaan, kuinka paljon tietotekniikkaa on yläkouluissa käytetty. Joillain on ollut jo yläkoulussa oma älylaite, GeoGebra ja sähköisiä kokeita. Jotkut taas aloittavat nollasta. Osa opiskelijoista pitää kynää ja paperia edelleen luontevana ja palauttaa valokuvattuja vihkoja [...] Myös omasta mielestäni jotkin asiat ovat helpompia perinteisin menetelmin, vaikka en palaisi pelkkään paperiin mistään hinnasta.”

Näkemys on kiinnostava. Olemme aiemmin todenneet perusasteella saavutetun taitotason ennustavan myös korkeampien koulutusasteilla saavutettavaa menestystä. Samalla olemme havainneet tietotekniikan opetuskäytön kasvavan korkeammilla koulutusasteilla, ja muun muassa olevan perusasteella suppeampaa kuin lukiossa. Antaako peruskoulu oppilaille toiselle asteelle riittävät tietotekniset valmiudet?

Osa haastateltavista yhtyi näkemykseen, jonka mukaan opiskelijoiden keskuudesta löytyi myös tietotekniikkaa vähän käyttäviä tai siihen negatiivisesti suhtautuvia ryhmittymiä. Opettaja 1 muotoilee asian:

”Opiskelijoista suurin osa on omaksunut tietotekniikan käytön hyvin. Tietty porukka kuitenkin kieltäytyy käyttämästä tekniikkaa ja palauttaa aina kaiken käsin, jos suinkin mahdollista. He ovat pudonneet pois tietotekniikasta.”

Opettaja 4, joka haastattelussa ilmaisi suhtautuvansa tietotekniikkaan vapaaehtoisena apuvälineenä, näkee opiskelijoiden matematiikkaan liittyvän identiteetin mahdollisena syynä havaitsemilleen keltastaputoajien ryhmittymille:

”Pitää paikkansa, että pieni porukka vastustaa tietokoneita. Matematiikkaan oppiaineena rakentuu identiteetti pienestä pitäen. Ehkä opiskelijat, jotka saavat innon matematiikan ymmärtämisestä, eivät innostu tietokoneiden mukanaolosta? Jos opiskelijalla on korkea motivaatio, ei välttämättä tunnu kivalta, että tietokone tekee paljon puolesta.”

Vastaus tuo esille kysymyksen tietotekniikan käytön ja motivaation välisestä suhteesta. Tätä yhteyttä olemme aiemmin käsitelleet luvussa 3.2.1. Totesimme tutkimuksen tietotekniikan käytön ja opiskelumotivaation suhteesta olevan suhteellisen myönteistä, vaikkakin tietyillä varauksilla. Uudemman tutkimuksen perusteella tietotekniikan positiivinen vaikutus motivaatioon on suurimmillaan silloin, kun käyttökertojen määrä on vähäisempi. Tämä voi viitata kohdistetumpien interventioiden tehokkuuteen, vaikkakin olemassa on myös havainnon kanssa ristiriitaista vanhempaa tutkimusta.

Huomionarvoista on, että useassa tapauksessa tietotekniikan positiiviset vaikutukset ovat ilmenneet selkeiten juuri heikommin suoriutuvien oppijoiden keskuudessa. Luvussa 3.4.1 tarkastelimme lyhyesti hyvin suoriutuvien opiskelijoiden suhdetta tietotekniikan käyttöön. Havaitsimme, että tässä ryhmässä tietotekniikkaan kriittisemmin suhtautuvien opiskelijoiden matematiikan oppimistulokset vaikuttivat olevan positiivisesti suhtautuvia opiskelijoita parempia. Emme siis voi sulkea pois mahdollisuutta, etteikö rakentavan suhteen muodostaminen tietotekniikkaan olisi korkeasti motivoituneelle ja apuvälineisiin kiintyneelle oppijalle ongelmallista.

4.3.4 Tietotekniikkaa ei pidetä syyllisenä keskittymisongelmiin

Tietotekniikan opetuskäytön on usein esitetty vaikuttavan negatiivisesti oppijoiden keskittymiskykyyn. Verkossa on paljon mahdollisia häiriötekijöitä, ja kannettavan tietokoneen, älypuhelimien tai muun älylaitteen ollessa tunneilla jatkuvasti saatavilla voivat oppijat käyttää niitä myös muuhun kuin opettajan määrittelemiin tarkoituksiin. Luvussa 3.3.2 havaitsimme moniajon, eli huomion jakamisen useamman ärsykkeen kanssa, olevan yhteydessä niin heikompien oppimistulosten kuin opitun asian heikomman muistamisen kanssa. Aivotutkimuksen perusteella moniajo myös vähensi ensisijaisen tehtävän kannalta olennaisten aivoalueiden aktiivisuutta. Opettaja 2 kommentoi asiaa:

”Koulun kannettavat ovat aika vanhoja, ja helposti ostetaan oma laite, jolla käy helposti esimerkiksi Facebookissa. Olisi hyvä, jos olisi oma koulun työkone, jolla voisi tehdä vain töitä, ja omat jutut jäisivät omalle koneelle. Helposti eksytään.”

Aiemmin totesimme, että tietotekniikan keskittymiskykyyn liittyviä haittavaikutuksia on mahdollista rajoittaa metakognitiivisilla taidoilla. Yksittäisten sähköisten oppimateriaalien kohdalla häiriötekijöiden rajoittaminen on lisäksi suunnittelukysymys. Vaikka lukion tarjoamat, rajoitettuja toimintoja sisältävät älylaitteet ovat keskustelun arvoinen mahdollisuus, on ajatuksen käytännöllisyyttä silti syytä pohtia. Onko älylaitteen yhteys opetukseen liittymättömiin verkkosivuihin mahdollista tai tarkoituksenmukaista katkaista? Entä kuinka suhtaudutaan opiskelijoiden henkilökohtaisiin älylaitteisiin, kuten kännyköihin?

Useasti olemme myös huomanneet, etteivät kaikki tietotekniikkaan liitetyt ongelmat ole sille uniikkeja, vaan samoja ongelmia esiintyy myös perinteisissä oppimisympäristöissä. Erityisesti keskittymisongelmien suurin osa haastateltavista koki olevan pikemminkin opetustilanteiden vakiintunut ominaisuus kuin tietotekniikan niihin tuoma uusi tekijä. Opettaja 3 muotoili asian seuraavasti:

”Tietyllä osalla opiskelijoista laitteet harhauttavat tarkkaavaisuutta. Toisaalta sama porukka katselisi ikkunasta ulos tai heittelisi kuminpalasia, jos ei olisi tietotekniikkaa. Hyvät opiskelijat keskittyvät myös läppäriin kanssa.”

Opettajan 5 ajattelu oli samansuuntaista

”Muualle harhailemista ilmenee. Toisaalta samalla lailla ilmankin tietokonetta pürrehtiin vihon reunaan ja tuijotettiin kaukaisuuteen. Nyt se, mitä ei ennen havaittu, on vain näkyvämpää. Ihminen laitteiden takana ei ole muuttunut mihinkään. Viestinnästä on tullut hektisempää: osa pystyy olemaan 75 minuuttia mutta osan on pakko heti reagoida ärsykkeisiin puhelimessa.”

Opettaja 4 puolestaan näki, että tietotekniikka voi houkutella tekemään muuta, mutta voi parhaimmillaan jopa parantaa keskittymiskykyä, jos opiskelija kokee sähköisen aktiviteetin mielekkääksi. Voimme todeta, että suurin osa haastateltavista piti keskittymiskyvyn harhailemista pikemminkin ihmisen synnynnäisenä ominaisuutena, joka tietotekniikan ollessa läsnä vain suuntautuu perinteisestä poikkeavalla tavalla.

4.3.5 Erilaisia ohjelmistoja hyödynnetään monipuolisesti

Luvussa 2.1.2 käsitelimme kyselytutkimuksia tietotekniikan käytön laajuudesta lukio-koulutuksessa. Esimerkiksi vuoden 2019 lukiolaisbarometrissa 70 % opiskelijoista ilmoit-

ti käyttävänsä sähköisissä ylioppilaskirjoituksissa sallittuja ohjelmistoja vähintään kuu-kausittain. Myös haastateltavat opettajat hyödynsivät opetuksessaan erilaisia ohjelmistoja suhteellisen monipuolisesti.

Aloitetaan tarkastelumme symbolisen laskennan ohjelmistoista, jotka ovat relevantteja sekä fysiikan että matematiikan opetuksessa. Haastateltavista opettajista kaikki käyttivät opetuksessaan laskentaohjelmistoja. Selkeästi suosituimmaksi ohjelmistoksi osoittautui GeoGebra, jota kaikki haastateltavista käyttivät. Seuraavaksi suosituimmat ohjelmistot olivat TI-Nspire ja SpeedCrunch, joista kumpaakin käytti kolme opettajaa. Lisäksi mainintoja keräsivät ohjelmistot KCalc ja GNOME. Opettaja 1 kommentoi:

”Käytän GeoGebraa, johon sisältyy CAS. TI-Nspireä en pakota käyttämään, mutten myöskään kiellä opiskelijoita käyttämästä. [...] Lisäksi opetan SpeedCrunchia ja L-Mat -kirjoittamisohjelmaa.”

Opettaja 4 puolestaan kommentoi:

”Teen tunneilla lähes kaikki laskut GeoGebralla. Muut ohjelmistot ovat vielä kokeilematta.”

Fysiikkaohjelmistoista yleisimmin käytetyksi ohjelmistoksi osoittautui LoggerPro, jota molemmat haastatellut fysiikan opettajat käyttivät säännöllisesti. Ohjelmistoa kuvattiin sekä helppokäyttöiseksi että hyödylliseksi työkaluksi fysiikan ilmiöiden mallintamisessa. Lisäksi Dia-kuvankäsittelyohjelmisto mainittiin hyödyllisenä työkaluna piirikaavioiden piirtämiseen. Opettaja 3 kommentoi:

”Käytän mittausohjelmistoja säännöllisesti. Joka tunnilla on mittausta LoggerPron avulla tai kuvaajiin liittyviä harjoitustehtäviä.”

Opettaja 2 toi kuitenkin esille mittausohjelmistoihin liittyvän aikataulullisen ongelman:

”Koetilanteen järjestelyyn menee niin paljon aikaa, että joskus voi olla parempi jättää mittaus omaan arvoonsa ja keskittyä enemmän arjen esimerkkeihin.”

Muista ohjelmistoista kolme mainintaa keräsi LibreOffice, jota käytettiin aineistojen käsittelyyn sekä fysiikassa erilaisten havainnolistusten piirtämiseen. Myös Maol-digitaulukoiden käyttöä opetettiin opiskelijoille.

Kysyttäessä opiskelijoiden perehdyttämisestä ohjelmistojen käyttöön koki suurin osa haastateltavista ohjelmistojen kulkevan kurssien mukana luontevasti niin, että opiskelijat tottuvat ohjelmistoihin normaalissa käytössä. Kaksi haastateltavaa mainitsi kuitenkin, että heidän lukioissaan oli järjestetty erityisesti ohjelmistojen käyttöön keskittyviä matematiikan soveltavia kursseja. Toinen heistä oli opettaja 2:

”Se, tulevatko [ohjelmistot] mukana vai opetetaanko erikseen, riippuu opiskelijan lähtökohdista. Meillä on erikseen sähköisen matematiikan soveltava kurssi, jossa käydään läpi työkaluja.”

Positiivisia kokemuksia vastaavasta järjestelystä toi esiin opettaja 5:

”Tänä vuonna meillä on ensimmäistä kertaa ohjelmistoihin keskittyvä kurssi. Se on jaksettu ensimmäiselle opiskeluvuodelle alkamaan MAA3-kurssin rinnalla ja jatkumaan myöhemmin. Opiskelijat kokivat kurssin todella hyödylliseksi ja hyväksi, yksi viikkotunti oli puhdasta ohjelmistojen harjoittelua. Kaikki eivät tosin valinneet kurssia.”

Olemme todenneet haastateltavien havainneen eroja opiskelijoiden tietoteknisessä lähtötasossa, ja ongelmien on koettu olevan peräisin perusasteen puutteellisesta tvtkoulutuksesta. Laskentaohjelmistojen käyttöön keskittyvä valinnainen kurssi on ongelmaan harkitsemisen arvoinen osittaisratkaisu. Kuten haastateltavien vastauksista huomaamme, kurssi voisi mahdollisesti vähentää ylioppilaskirjoitusten eriarvoisuutta tasoitamalla eroja ohjelmistojen käyttötaidoissa.

4.3.6 Laskentaohjelmistoissa huolettavat liikakäyttö ja käytettävyys

Käytön yleisyyden lisäksi olennaista on tietää, millä tavalla opettajat ohjelmistoja opetuksessaan hyödyntävät. Opettaja 3, joka työskenteli fysiikan opettajana, toi esille laskentaohjelmistojen käytön fysiikan tehtävien välivaiheissa:

”Käytän ohjelmistoja joissakin tietyissä aiheissa mekaaniseen ratkaisemiseen, kuten yhtälöryhmiin. Pidän laskemisesta niin, että käyn välivaiheita jonkin verran läpi ja kirjoitan niitä. Sanon kuitenkin, että [laskentaohjelmistoja] saa käyttää apuvälineinä tietyissä mekaanisissa suorituksissa, erityisesti Kirchhoffin ja Newtonin lait.”

Fysiikan opetuksessa toimintatapaa voidaan pitää pedagogisesti mielekkäämpänä, sillä käsitteiden ymmärtäminen on fysiikassa usein yhtälöryhmien ratkaisemisen kaltaisia aritmeettisia suorituksia keskeisempää. Kysymys perustaitojen roolista 2020-luvun lukio-opetuksessa lieneekin keskeisempi matematiikassa. Tähän kysymykseen syvennymme tarkemmin luvussa 4.2.7.

Ohjelmistojen käytönnöllisistä ominaisuuksista matematiikan opettajat antoivat kiitosta erityisesti kuvaajien ja kolmiulotteisten kappaleiden havainnollistamiselle. Opettaja 1 kommentoi asiaa:

”Funktioiden ja kuvaajien piirtäminen on helppoa käsin tekemiseen verrattuna. Kuvaajat ovat eksakteja, eivät mallikuvamaisia. Myös kolmiulotteinen mallintaminen on helpompaa. Lisäksi tietotekniikkaa käytettäessä pitää ajatella ja prosessoida tietoa ennen kaavan syöttämistä, sillä pitää tietää, mitä oikein on tekemässä.”

Opettaja 5 antoi tunnustusta GeoGebran liukukytkinominaisuudelle:

”Havainnollistaminen ja nopeus. Funktion kertoimen vaikutus sen kulkuun on nopeaa ja selkeää havainnollistaa liukukytkimellä.”

Luvussa 3.4.1 tarkastelimme symbolisen laskennan ohjelmistojen käytön kognitiivisia vaikutuksia. Totesimme, että laskentaohjelmistojen käyttö vaikuttaa edistävän funktion ja muuttujan käsitteiden ymmärtämistä sekä kykyä tulkita kuvaajia. Haastateltavien laskentaohjelmistoista tekemät havainnot ovat siis linjassa tutkimustiedon kanssa. Toisaalta tunnistimme myös mahdollisuuden, että oppijat saattavat joskus hyväksyä laskimen antamia virheellisiä tuloksia sellaisenaan. Mahdollisuus alleviivaa vastausten oikeellisuuden kriittisen arvioinnin taidon merkitystä. Opettajan 1 toteamusta myötäillen laskentaohjelmistoja käytettäessä todella *pitää tietää, mitä oikein on tekemässä*.

Opettajan 5 mielestä SpeedCrunch-ohjelmiston toimintojen määrä on niin laaja, että hän kyseenalaistaa sen paikan ylioppilaskokeen A-osassa:

”SpeedCrunchissa on enemmän toimintoja kuin olisin osannut haaveillakaan. Se asentui helposti, joten se valittiin opiskelijoiden käyttöön. Milloin YTL ymmärtää, miten paljon SpeedCrunchista saa ulos, ja siirtää sen B-osioon?”

Erityisen paljon laskentaohjelmistoissa haastateltavien mielipiteitä jakoi ohjelmistojen käytettävyyys todellisissa opetustilanteissa. Opettajan 2 mielestä usean eri välilehden hyödyntäminen oli tehokas toimintatapa:

”Eri välilehtien hyödyntäminen on todella kätevää: kaavakokoelma, laskin ja tekstieditori voivat olla omissa ikkunoissa. Käyttöliittymä on helppo, jos on tottunut käyttävään tietokonetta. Toisaalta kirjaan tottuneille kirja voi olla helpoin.”

Muuten laskentaohjelmistojen käytettävyyttä kuvattiin muun muassa ilmaisuilla *hankala*, *ei helppokäyttöinen*, *ei vaikeaa päästä sisään* ja *ei vielä mennyt selkäyttimeen*. Huolta herätti erityisesti erilaisten ohjelmistojen paljous sekä vaadittujen komentojen muistaminen. Suurin osa haastateltavista piti myös kaavojen kirjoittamista ohjelmistoilla käsin kirjoittamista hitaampana. Kaksi haastateltavaa mainitsi ongelmana koeajan riittämättömyyden. Opettaja 1 kommentoi:

”Ylioppilaskokeissa kirjoittaminen on hidasta ja kankeaa. Tämä aiheuttaa ongelman, että aika kokeissa uhkaa loppua kesken. 6 tuntia meinaa olla liian vähän ylioppilaskokeisiin. Kirjoittaminen on hitaampaa kuin käsin kirjoitettaessa, vaikka tämä saattaa olla myös tottumuskysymys.”

Huoli lienee aiheellinen, oli kirjoittamisen hitaudessa kysymys tottumuksesta tai ohjelmistojen luonnollisesta ominaisuudesta verrattuna käsin kirjoittamiseen. Opetustilanteessa opettaja 4 ilmaisi joutuneensa joskus jättämään tehtävistä pois välivaiheita kirjoittamisen hitauden takia. Toisaalta myös lupaavia ratkaisuja ongelmaan esitettiin. Käytännöllisiksi kehuttiin kosketusnäyttöllisiä laitteita, jotka konvertoivat käsin kirjoitetun tekstin suoraan sähköiseen muotoon. Opettaja 5 mainitsi myös ohjelmistot, jotka muuttavat käsin kirjoitetun tekstin \LaTeX -koodiksi. Esiin tulleista käytettävyysongelmista huolimatta rakentava suhtautuminen ohjelmistojen käyttöön oli haastateltavien keskuudessa yleistä. Opettaja 3 tiivistä tuntemuksensa:

”Kyllä tosin yliopistotasoiset opinnot käynyt ymmärtää.”

4.3.7 Matemaattisten perustaitojen koetaan heikentyneen

Eräs haastattelun keskeisistä teemoista oli opiskelijoiden matemaattiset perustaidot. Haastateltavilta kysyttiin, kuinka paljon he painottavat opetuksessaan matemaattisia perustaitoja (kuten käsin ratkaisemista) suhteessa laskentaohjelmistojen käyttöön. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin, kokivatko he opiskelijoiden perustaitojen heikentyneet aikana, jonka he ovat toimineet opettajana. Matematiikan oppimistulosten suuntaa käsitelimme aiemmin luvussa 2.4.2, jossa totesimme väitteen taitotason laskusta olevan vähintäänkin uskottava. Yksiselitteisen johtopäätöksen muodostaminen taitotason laskun syystä, tai *syistä*, osoittautui kuitenkin vaikeaksi.

Haastateltavat vaikuttivat pyrkivän opetuksessaan tasapainoon matemaattisten perustaitojen ja laskentaohjelmistojen käytön välillä. He olivat suhteellisen yksimielisiä siitä, että matemaattisen ymmärryksen saavuttamiseksi on oleellista tuntea myös erilaisten tehtävien taustalla vaikuttavia matemaattisia periaatteita. Opettajat korostivat aritmeettisten taitojen, kuten polynomien sieventämisen ja eksponenttiyhtälöiden ratkaisemisen harjoittelua käsin ennen laskentaohjelmistojen käyttöönottoa. Opettaja 1 asetti ohjelmistojen käytölle selkeän reunaehdon:

”Painotan opetuksessa myös tavallisia ongelmanratkaisutaitoja. Pyrin opettamaan myös asioiden tekemisen käsin ennen ohjelmistojen käyttämistä. Käsin ratkaiseminen pitäisi osata ennen ohjelmiston käyttöönottoa, sillä silloin ymmärtää, mitä taustalla tapahtuu. [...] Polynomien sieventäminen käsin ja kaavojen pyörittäminen lisää matemaattista ymmärrystä.”

Opettaja 2 käsitteli asiaa seuraavasti:

”Pyrin muotoilemaan tehtävänännöt niin, että niihin saadaan matemaattinen lisä. Esimerkiksi perustele, miksi funktio on alaspäin laskeva. GeoGebra on todella tehokas, ja pidemmän päälle liikakäyttö on haitallista syvälliselle matematiikan ymmärtämiselle.”

Luvussa 3.4.1 käsitelimme matematiikan oppimistulosten ja aritmeettisten taitojen keskinäistä suhdetta. Totesimme, etteivät oppijoiden oppimistulokset ole selitettävissä vain matemaattisella päättelytaidoilla, vaan myös aritmeettisten taitojen hallinnalla on itsenäinen, oppimistuloksiin vaikuttava komponenttinsa. Samalla huomautimme tutkimustiedon viittaavan siihen, että runsas laskinten käyttö korreloi heikompien aritmeettisten taitojen kanssa. Tässä valossa pedagoginen ajatus ”ensin käsin, sitten laskimella” on varsin perusteltu. Myös matematiikan ylioppilaskokeiden jako A- ja B-osaan on vahvistanut tarvetta matemaattisten perustaitojen hallinnalle.

Samalla laskentaohjelmistojen suuntaan vievä kehitys saa haastateltavilta myös ymmärrystä. Opettaja 5 muistutti, että oleellisena pidettävät matemaattiset taidot ovat myös historiasidonnaisia:

”Edellytän, että tietyt perustaidot ovat hallussa, koska ne lisäävät ymmärtämistä. [...] Toisaalta oma isäni, joka oli myös opettaja, oli kerran pöyristynyt, koska en itse opettaja osannut ratkaista käsin neliöjuuria. [...] Toisista taidoista tulee tärkeitä, ja toiset lakkaavat olemasta tärkeitä. Opiskelijat voivat arvostaa trigonometrinen funktioiden arvojen katsomista taulukosta, mutta sitä ei taitona tarvita enää samalla tavalla.”

Matemaattisten perustaitojen suunnasta kysyttäessä haastateltavista neljä arvioi taitotason olevan laskussa. Ongelmia todetaan olevan erityisesti laskujärjestyksen, sieventämisen, murtolukujen laskusääntöjen ja yhtälöratkaisun kaltaisissa taidoissa. Opettaja 1, joka työskentelee matematiikan opettajana, arvioi ongelmakohtia:

”Olen havainnut opiskelijoiden matemaattisten perustaitojen merkittävää huonontumista. Esimerkiksi polynomien ratkaiseminen, yhtälöryhmien ja yhtälöiden ratkaiseminen sekä murtolausekkeiden sieventäminen tuottavat enemmän vaikeuksia.”

Opettaja 3, joka työskentelee fysiikan opettajana, jatkaa pohdintaa oman oppiaineensa näkökulmasta:

”On heikentynyt paljonkin, selvästi. Sen huomaa parhaiten fysiikan ykköskursilla sisääntulevien opiskelijoiden kanssa: nopeus, kiihtyvyys ja yhtälöiden ratkaiseminen sujuvat heikommin kuin työn aloittaessa. Parhaat tosin osaavat suvereenisti kaiken. Taitotaso on polarisoitunut, keskimäärin heikentynyt.”

Luvussa 2.4 tarkastelimme peruskoulun luonnontieteiden ja matematiikan oppimistulosten suuntaa erilaisilla indikaattoreilla. Havaitsimme sekä PISAn että TIMSSin kaltaisten kansainvälisten standardisoitujen tutkimusten että Suomessa toteutettujen kansallisten arviointien viittaavan taitotason laskuun. Kansallisissa arvioinneissa sekä päässä-lasku-monivalinta- että ongelmanratkaisutehtävien ratkaisuosuudet vuosina 2004–2015 laskivat. Voimakkainta lasku oli ongelmanratkaisutehtävissä.

Eräs tärkeä huomiomme oli matemaattisten aineiden opiskelun pyramidimainen luonne: osaamistaso peruskoulun päättövaiheessa vaikuttaa korreloivan voimakkaasti toisen asteen lopussa saavutetun osaamistason kanssa. Opettaja 4 tulkitsee taitotason laskun juontavan juurensa lukio-opintonsa aloittavien opiskelijoiden lähtötasoon, ja tuo esille erityisesti lyhyen matematiikan:

”Perustaidot ovat heikot lukiossa aloitettaessa etenkin lyhyen matematiikan puolella. Lukioissa on tasoeroja ja erilaista opiskelija-ainesta. Tällä hetkellä ollaan ehkä laskusuunnassa: sieventäminen, sulkeiden poistaminen, laskujärjestys ja murtolukujen laskusäännöt eivät tarttuneet peruskoulussa.”

Juuri lyhyen matematiikan opetus on esiintynyt useissa aikaisemmissa havainnoissamme vähemmän mairittelevissa yhteyksissä. Vuoden 2015 opetussuunnitelmauudistuksessa lyhyen matematiikan opetussisältöjä merkittävästi muokattiin. Kuvailimme muutosta teoreettisemmän matemaattisen sisällön vähenemiseksi ja perustaitojen sekä soveltavan sisällön painottamiseksi, mikä voi kieliä opiskelijoiden aiempaa korkeammasta tarpeesta perusasteella opittujen taitojen vahvistamiselle. Kansallisten arviointien perusteella matematiikan lyhyen oppimäärän käyvät opiskelijat kykenevät lukiokoulutuksen lopussa juuri ja juuri säilyttämään 9. luokan lopun osaamistason.

Opettaja 5 esittää taitotason laskusta hivenen muita optimistisemmän näkemyksen. Hän näkee taitotason laskun mahdollisesti kuvaavan vaihtokauppaa, jossa perustaitojen ulkoistaminen on vapauttanut opiskelijoiden kapasiteettia laajempien matemaattisten konaisuuksien ymmärtämiselle:

”Perussieventäminen ja murtolukujen ymmärtäminen ovat heikentyneet, koska niitä ei harjoitella enää niin paljon. Opiskelijat eivät ole tyhmentyneet vaan oppineet juuri sen mitä heille on opetettu. Esimerkiksi murtolausekkeen sieventäminen on ulkoistettu laskimelle. [...] Toisaalta monimutkaisten asioiden ymmärtäminen on voinut jopa parantua. Esimerkkinä normaalijakauma. Vaikkeivät opiskelijat laske niin hyvin, ehkä he ymmärtävät periaatteita paremmin.”

Lausunnon todenperäisyyttä on hankala arvioida, sillä siihen sisältyy paljon subjektiivisuutta. Viime vuosikymmeninä tietotekniikan merkitys matemaattisissa aineissa on epäi-

lemättä kasvanut ja hankalammaksi miellettyjen matemaattisten sisältöjen määrä opetussuunnitelmassa laskenut. Se, johtuuko päässälaskutaitojen heikkeneminen opetussuunnitelman muutoksesta vai opetussuunnitelman muutos päässälaskutaitojen heikkenemisestä, lienee klassinen muna-vai-kana -ongelma, johon emme tyhjentävästi voi vastata. Kenties kyseessä on itseään palauteilmiön lailla vahvistava kierre.

Voivatko laskentaohjelmistot edistää syvällisempien matemaattisten taitojen hallintaa aritmeettisten taitojen kustannuksella? Luvussa 3.4.1 totesimme graafisen laskennan käytön edistävän esimerkiksi funktion ja muuttujan käsitteiden ymmärtämistä sekä kykyä tulkita kuvaajia. Joitakin kohonneeseen *matemaattiseen ymmärrykseen* viittaavia merkkejä on siis saatavilla, ainakin matemaattisen analyysin osa-alueella. Vaikka kognitiivista vaihtokauppaa ei voida sulkea pois, on kuitenkin tärkeää muistaa, että aritmeettisten taitojen ja matemaattisen ymmärryksen keskinäinen suhde on monimutkainen. Reaali maailmassa mahdollisen vaihtokaupan hyödyt ja haitat jäävät opetuksensa painotuksista päättävien opettajien punnittaviksi.

4.3.8 Ylioppilaskokeen koetaan muuttuneen aineistopainotteisemmaksi, vaikeustaso hakee yhä tasapainoa

Fysiikan ylioppilaskoe sähköistettiin syksyllä 2018 ja matematiikan ylioppilaskoe keväällä 2019. Näin matemaattisten aineiden kokeiden sähköistäminen sijoittui aikataulun loppupäähän. Haastattelujen toteuttamisajankohtana sähköisiä fysiikan kokeita oli ehditty järjestää neljä ja matematiikan kokeita kolme. Luonnollisesti siis merkittävässä osassa haastatteluja olivat haastateltujen opettajien näkemykset ylioppilaskokeen sähköistämisestä, mukaan lukien mahdolliset muutokset kokeessa tarvittavissa taidoissa sekä kokeen vaikeustasossa.

Ilmiselvänä sähköistymisen mukanaan tuomana muutoksena esiin nousi tietoteknisien taitojen merkityksen kasvu ja tarve hallita kokeessa sallittujen ohjelmistojen käyttö. Suurin osa haastateltavista oli kuitenkin kiinnittänyt huomiota myös aineistotehtävien määrään ja merkityksen kasvamiseen. Opettaja 2 kommentoi asiaa:

”Kokeet ovat eri näköisiä. On paljon raakadataa ja enemmän huomaamista. Lyhyessä matematiikassa oli tilastotehtävänä iso tilastotiedosto, josta piti poimia ne tiedot mitä pyydettiin.”

Myös opettaja 4 nosti esille eräänä muutoksena juuri aineistotehtävät:

”Sieventämistä ja yhtälöiden ratkaisemista pidettiin ennen tärkeänä lyhyessä matematiikassa. Suoran leikkauspisteitä ja niin edelleen. Nyt koe on mennyt enemmän tilastopohjaiseksi tai yleisesti aineistopohjaiseksi, on otettu luovaa ajattelua vaativa suunta.”

Käsittelimme sähköistä ylioppilaskoetta luvussa 2.3. Erääksi keskeisistä sähköistymisen tuomista muutoksista tunnistimme juuri entistä laajemmat aineistot, joiden analysoimisessa opiskelijat voivat hyödyntää esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmistoja. Aineistoja oli käytetty sekä fysiikan että matematiikan ylioppilaskokeissa. Lisäksi totesimme sähköistymisen mahdollistaneen lyhyiden tehtävien automaattisen tarkistamisen sekä videoiden ja simulaatioiden liittämisen tehtävien lisämateriaaliksi.

Haastateltavien näkemyksissä sähköistymisen vaikutuksista ylioppilaskokeen vaikeustasoon esiintyi merkittävää hajontaa. Osa heistä kuvaili kokeen helpottuneen, osa puolestaan vaikeutuneen. Toisaalta myös käsitykset vaikeustason muuttumiseen johtaneista syistä erosivat. Opettaja 3 kokee fysiikan kokeen vaikeustason helpottuneen, mutta ehdottaa mahdolliseksi syyksi vuoden 2015 opetussuunnitelmauudistusta, joka vähensi fysiikan valtakunnallisten syventävien kurssien määrää yhdellä:

”Kokeen vaikeustaso on helpottunut. Toisaalta se kyllä keveni myös, koska fysiikasta lähti yksi kurssi pois ja jäljellejääneitä kursseja karsittiin sisällöllisesti.”

Opettaja 4 näki matematiikan kokeen helpottuneen:

”Vaikeustaso on vähän helpottunut, mikä ei välttämättä ole huono asia.”

Vastaavasti osa haastateltavista edusti näkemystä, jonka mukaan ylioppilaskokeiden vaikeustaso oli noussut. Tähän suuntaan kallistui opettaja 2, joka huomautti sähköisen kokeen hakevan edelleen muotoaan:

”Vuosittaiset olosuhteet hakevat pisterajoihin, ja sähköinen koe hakee vielä muotoaan. Minusta tuntuu, että kysyttävät asiat ovat vaikeampia kuin ennen, koska vaaditaan enemmän soveltamista.”

Opettajan 1 näkemyksen mukaan matematiikan kokeen vaikeustaso on digitalisaation murrosvaiheessa vaihdellut erilaisten ääripäiden välillä:

”Ylioppilaskokeiden suorittamisesta on tullut merkittävästi hitaampaa, vaikka matematiikan tehtävistä on tullut vaikeampia. Aluksi, kun symbolisen laskennan ohjelmistot sallittiin kokeessa, vaikeustaso helpottui merkittävästi. Sen jälkeen menttiin toiseen ääripäähän.”

Hän kokee, että symbolisen laskennan ohjelmistojen sallimisen välitön vaikutus oli kokeen helpottuminen. Tämän jälkeen tehtävien vaikeustasoa alettiin sopeuttamaan muuttuneeseen tilanteeseen, ja koe vaikeutui – näin vaikeustaso olisi kokenut tietynlaisen jojoefektin. Vastauksesta ei kuitenkaan yksiselitteisesti ilmene, viittaako haastateltava helpottuneella

vaikeustasolla vaiheeseen, jossa graafiset laskimet sallittiin kokeessa, vai sähköistämiseen, jossa mukaan tulivat varsinaiset laskentaohjelmistot.

Myös matematiikan koen jakoa kolmeen osaan voidaan pitää reaktion symbolisen laskennan nousuun. Seuraavassa kappaleessa käsittelemme näkemyksiä kyseisen uudistuksen onnistumisesta.

4.3.9 Matematiikan kokeen jako kerää opettajilta kiitosta

Matematiikan ylioppilaskoe on jaettu kolmeen osaan, jotka ovat A- B1- ja B2-osa. Näistä A-osa sisältää esimerkiksi monivalintatehtäviä sekä lyhyitä lasku- ja selitystehtäviä, B1-osa vaihtelevia lasku- ja ongelmanratkaisutehtäviä ja B2-osa vaativampia ja soveltavampia tehtäviä. Kokeen jako on kannaltamme relevantti, vaikka se toteutettiin jo ennen ylioppilaskokeen sähköistämistä. Tämä johtuu siitä, että kokeessa sallittuja ohjelmistoja voi käyttää rajatta vain kokeen B1- ja B2-osissa, kun taas A-osassa edistyneemmät symbolisen laskennan ohjelmistot ovat lukittuneet.

Haastateltavilta opettajilta kysyttiin heidän mielipidettään matematiikan ylioppilaskokeen jaosta, erityisesti verrattuna jakoa edeltäneeseen tilanteeseen, jossa graafisia laskimia oli mahdollista käyttää kokeen aikana rajatta. Haastateltavat pitivät jaon toteuttamista pääpiirteittäin hyvänä. Opettaja 4 ajatteli jaon tuovan selkeyttä ohjeistukseen laskinohjelmistojen käytöstä:

”Ihan hyvä jako. Opiskelijat tietävät selvästi, saako tässä tehtävässä käyttää laskinta vai ei. Tehtävien otsikointi on hyvä asia! Ei lähdetä lähtökohtaisesti ratkaisemaan geometrian tehtävää jonain muuna tehtävänä.”

Samoin uudistusta hyvänä piti opettaja 5:

”Yleisesti ottaen erinomainen uudistus, itsekin olen tehnyt joka vuonna tuollaisia kokeita. Jos opetetaan kahta erilaista asiaa, molempia täytyy testata. A-osassa pitää kysyä kysymyksiä, jotka ovat relevantteja ja järkeviä ilman laskinta. B-osassa taas esimerkiksi tilastanalyysijä, laskintehtäviä ja aineistoa.”

Myös opettaja 2 totesi uudistuksen olevan toimiva. Hän kuitenkin kiinnitti huomiota jo aiemmin käsittelemäämme SpeedCrunch-ohjelmiston saatavuuteen kokeen A-osassa:

”Ihan hyvä ja toimiva järjestely. [...] SpeedCrunch on sallittu A-osassa, vaikka siitä löytyy myös graafisen laskimen ominaisuuksia, jos osaa käyttää oikein. A-osan tulisi olla puhdas päässälaskukoe pelkällä Maolilla, nyt se on kummallinen hybridi.”

Kahden haastateltavan kiinnittäessä spontaanisti huomiota samaan ohjelmistoon on varmasti aiheellista kysyä, onko liikaa toimintoja sisältämän ohjelmiston salliminen kokeen matemaattisiin perustaitoihin keskittyvässä osassa tarkoituksenmukaista. Voiko tietoisuus SpeedCrunchin toiminnoista saattaa kokelaat eriarvoiseen asemaan?

Kritiikkiä kokeen jaossa herättää B2-osan vaikeustaso. Opettaja 5 pitää B2-osaa kokeilaille liian haastavana ja siten erottelukyvyltään huonona:

”Kokeen vaikeustaso on muuttunut, mutta se ei johdu digitalisaatiosta. En pidä muutoksesta. Miksi B2-osion tehtävät ovat nykyään niin haastavia? [...] Perushyvä opiskelija ei enää pääse näyttämään koko osaamistaan, vaan B2-osassa haetaan huippuja. Toki huippuja tarvitaan, mutta tulisiko tätä testata ylioppilaskokeessa? [...] B2-osa erottelee vain kympin opiskelijoita keskenään. Samat henkilöt ovat vuodesta toiseen uusimassa hakemassa L-arvosanaa.”

Matematiikan ylioppilaskokeen arvioinnin erottelevuus on noussut ajoittain keskusteluun. Erityisesti korkeampien arvosanojen vaativia kriteerejä ja lähes virheettömiä suorituksia edellyttäviä pisterajoja on pidetty ongelmallisina. Viime vuosina arviointia on pyritty uudistamaan muun muassa luopumalla Gaussin käyrän tiukasta soveltamisesta. Kokeen B2-osan vaikeustaso saattaa muodostaa tulevaisuuden kehityskohteen.

4.3.10 Tietotekniikassa nähdään käytännöllisiä hyötyjä, terveydelliset vaikutukset puhuttavat

Haastateltavat opettajat näkivät tietotekniikassa myös useita käytännön opetustyötä helpottavia ominaisuuksia. Erityisesti sähköisiä oppimateriaaleja, läksylistoja ja malliratkaisuja pidettiin hyödyllisinä. Opettaja 1 kiinnittää huomiota sähköisen materiaalin, kuten tuntimuistiinpanojen, jatkuvaan saatavuuteen myös sen jälkeen, kun opetettava asia oli käyty läpi luokassa:

”Hyödyt ovat erityisesti käytännöllisiä. Sähköiset malliratkaisut ja tuntimuistiinpanot ovat jatkuvasti saatavilla. Ennen asia oli poissa, kun sen pyyhki taululta. Opiskelijat voivat päästä käsiksi opetusmateriaaleihin, milloin haluavat. Lisäksi tuntia voi seurata myös reaaliajassa ja näkee, mitä opettaja tekee.”

Haastatteluista ilmenee, että Teamsin kaltaisia sähköisiä oppimisympäristöjä laajalti hyödyntävissä lukioissa opetustilanteiden luonne on muuttunut muistiinpanojen jatkuvan saatavuuden takia. Sen sijaan, että opettaja kirjoittaisi muistiinpanot liitutaululle ja opiskelijat kopioisivat ne vihkoihinsa, kuvaavat haastateltavat, ettei enemmistö opiskelijoista kopioi sähköisiä muistiinpanoja itselleen vaan luottaa sen sijaan niiden jatkuvaan saatavuuteen. Luvussa 3.3.2 pohdimme lyhyesti muistiinpanojen tekemistä tietoteknisiä apuvälineitä hyödyntäen. Totesimme, että tutkimustieto viittaa muistiinpanojen tekemisen

perinteisellä kynä-paperi -menetelmällä johtavan tiedon laajempaan kognitiiviseen prosessointiin ja siten parempiin oppimistuloksiin.

Toistuvana teemana haastatteluissa esille nousi koronaviruspandemian vaikutus Teamsin kaltaisten oppimisympäristöjen käyttöönottoon. Opettaja 5 kuitenkin kuvasi, että hänen lukiossaan Teamsia oli hyödynnetty jo useita vuosia. Lisäksi hän mainitsi hyödyntävänsä opetuksessaan Kahootin ja Edpuzzlen kaltaisia ohjelmistoja:

”Läksylistat, malliratkaisut ja oppikirjat ovat kaikki sähköisiä. Opetus on ollut Teamsissa jo vuosia, ja kaikilla kursseilla on ryhmä, jossa jaetaan tiedostot, keskustelut ja muistiinpanot. [...] Ennen oli käsiäänestyksiä, nykyään on sähköisiä ’polleja’, joihin voi vastata nimettömänä. Käytän myös ulkopuolisia sovelluksia, kuten Kahootia ja Edpuzzlea.”

Sähköisten materiaalien käytön lisäksi haastatteluissa keskusteltiin myös tavoista tuottaa sähköistä materiaalia, kuten muistiinpanoja. Tässä suhteessa opettajat erosivat toisistaan merkittävästi. Opettaja 4 totesi kirjoittavansa muistiinpanonsa edelleen paperimuodossa, mutta liittävänsä ne valokuvina sähköiseen oppimisympäristöön:

”Kursseilla käytetään Google Classroomia. Kirjoitan muistiinpanot ruutupaperille ja liitän ne valokuvina. Tuttuihin muistiinpanoihin voi aina palata lukiessa yo-kokeisiin. Kurssi pysyy tallessa.”

Toisaalta opettaja 2 kertoi tuottavansa opiskelijoille omaa videomateriaalia kertaustarkoituksiin:

”Olen tehnyt YouTube-videoita nopeita kertauksia varten. Näin voi käydä läpi keskeiset asiat. Videot eivät kuitenkaan korvaa lähiopetusta.”

Mahdollisista muista tietotekniikkaan liittyvistä huolista kysyttäessä esiin nousevat tietotekniikan käytön terveydelliset vaikutukset, kuten opiskelijoiden ruutuaika. Tämän näkökulman toi esille esimerkiksi opettaja 3:

”Minulla on huolta [tietotekniikan] terveydellisistä vaikutuksista.”

Opettaja 1 jakoi saman huolen:

”Olen havainnut ergonomisia haittoja. Lisäksi huolta aiheuttavat terveydelliset vaikutukset, kuten opiskelijoiden ruutuaika ja selän puuttuminen.”

Tässä tutkielmassa olemme keskittyneet tietotekniikan opetuskäytön kognitiivisiin vaikutuksiin. Näin ollen laajempi perehtyminen terveydellisiin vaikutuksiin ylittää tutkielman

laajuuden. Huomiota ei kuitenkaan tule sivuuttaa, sillä se alleviivaa sitä, kuinka monesta eri näkökulmasta digitalisaation kaltaisen perustavanlaatuisen muutoksen vaikutuksia voidaan lähestyä. Oppimistulosten ja kognition lisäksi olemassa on tarve saada tutkimustietoa digitalisaation terveydellisistä, sosiaalisista, yhteiskunnallisista, taloudellisista ja jopa eettisistä vaikutuksista.

4.3.11 Paluuta vanhaan ei pidetä realistisena

Haastateltavia opettajia pyydettiin myös esittämään kokonaisarvio niin ylioppilaskirjoitusten sähköistämisestä kuin lukio-opetuksen digitalisaatiosta kokonaisuudessaan. Näissä kysymyksissä haastateltavien mielipiteet olivat voimakkaasti jakautuneita. Aloitetaan tarkastelumme ensimmäisestä kysymyksestä. Sähköistä ylioppilaskoetta kaksi haastateltavaa piti yleisesti huonona, kaksi neutraalina ja yksi yleisesti hyvänä uudistuksena. Samalla uudistusta pidettiin kuitenkin myös välttämättömänä. Opettaja 4 tiivistää tuntemuksensa:

”Henkilökohtaisesti en pidä siitä. Intuitiivinen reaktio on se, että kokeen pitäisi olla ruutupaperilta. Toisaalta on myös ymmärrettävää, että nykyään tarvitaan tietoteknisiä taitoja ja että opiskelijat näkevät, että matematiikkaa voi tehdä myös tietokoneella.

Opettaja 3 pitää uudistusta hyvänä ja tuo esille erityisesti sen käytännöllistä näkökulmaa fysiikan opetuksessa:

”Fysiikassa [sähköistäminen] on tosi hyvä juttu. Saadaan enemmän välineitä käyttöön. Mallintaminen ja mittausdatan analysointi on tärkeä osa fysiikkaa ja sähköisissä kokeissa on monipuoliset aineistot. Voittaa millimetripaperille raapustamisen.”

Opettaja 1 suhtautuu uudistukseen negatiivisesti:

”Symbolisen laskennan tulisi olla työkalu, ei opetuksen sisältö. [...] Olen sitä mieltä, että uudistus on ollut kokonaisuudessaan huono.”

Opettaja 2 puolestaan piti uudistusta pohjimmiltaan välttämättömänä:

”Välttämätön uudistus työelämän kannalta. Omaa opiskeluhistoriaa mietittäessä tuntuu oudolta, että asiat tehdään koneella. Sen kanssa on elettävä, se on uusi normaali.”

Vastaavanlaista hajontaa esiintyi myös lukio-opetuksen digitalisaation onnistumista kokonaisuudessaan käsittelevässä kysymyksessä. Yhdistävänä teemana vastauksissa kuitenkin

korostui se, että tietotekniikka on tullut jäädäkseen, eikä paluuta vanhaan paperi-vihko-liitutaulu -opetukseen enää pidetä realistisena. Opettajan 3 suhtautuminen uudistuksen onnistumiseen oli toiveikasta:

”Oikea ratkaisu. En tiedä, onko kaikki tehty kerralla hyvin, mutta kehitys on ollut oikeaa. Asiat kyllä loksahdelevat kohdalleen pikku hiljaa vuosien varrella.”

Samankaltaista näkökantaa edusti opettaja 4:

”Ihan onnistunut ratkaisu. Turha palata vanhaan, nyt kun on totuttu tietokoneisiin. Aikataulut ovat toimineet ihan hyvin. Ei tarvinnut venyttää, ei se olisi muuksi muuttunut.”

Haastateltavista ainoana suoranaisten toiveiden digitalisaation purkamisesta esitti opettaja 1. Samalla hänkään ei kuitenkaan osoittanut erityistä optimismia purkamisen realistisuudesta, ja totesi toimivansa vallitsevan tilanteen puitteissa:

”Oma asenteeni digitalisaatioon on ollut negatiivinen, ja olen vastustanut sitä alusta asti. Saisivat puolestani jopa purkaa digitalisaation. [...] Toisaalta nyt on tyydyttävä siihen, mitä on ja toimittava sen puitteissa.”

Kun haastateltavat saivat esittää digitalisaatiota kohtaan vapaamuotoista kritiikkiä, kohdistettiin se erityisesti aikatauluun. Digiloikan aikataulua pidettiin hektisenä, ja vallitseva sentimentti oli, että tietotekniikka olisi pitänyt ottaa osaksi opetusta porrastetummin. Esimerkiksi opettaja 2 piti muutosta liian nopeana:

”Sähköistämisen aikataulu on ollut liian kiireinen ja muuttunut jatkuvasti. Asiat olisi tullut tehdä kerralla kunnolla ja jättää siihen.”

Niin ikään opettaja 1 koki digitalisaation aikataulun liian kiireiseksi. Hän toivoi, että lukiot olisi otettu laajemmin mukaan digitalisaatiota koskevaan keskusteluun sen sijaan, että digiloikka olisi toteutettu ylhäältä alaspäin ohjaamalla:

”Valmistelutyö ja pohjatyö hoidettiin huonosti ja liian nopealla aikataululla. Kukaan ei tiennyt, mitä tapahtuisi, eikä osannut järjestelmien käyttöä tai mitään muutakaan. Silti ylhäältä tuli ilmoituksia, että yo-koe jollakin tavalla sähköistettäisiin kahdessa vuodessa. [...] Ei tehty tarpeeksi tutkimusta tai kuunneltu lukioita.”

Opettaja 2 näki, että koulutuksen digitalisaatio jätti liikaa vastuuta yksittäisten opettajien harteille. Hän toi esille huolen vanhempien opettajien sopeutumisesta vallitsevaan tilanteeseen:

”Opettajuus on akateemisuus pohjainen ammatti, joten uskotaan, että kaikki voivat tehdä muutoksia itse. Kukaan ei ole tullut pakottamaan käyttämään ohjelmistoja, tuskin tulisi, vaikka alkaisi tekemään kaiken kyllä ja paperilla. Pelkään, että joissain lukioissa vanhemman sukupolven opettajat voivat olla vähemmän joustavia muuttamaan opetusta. [...] Ongelma voi siirtyä sukupolvelta toiselle: jos katsoisin vanhempia opettajia mentoreina, voisi ehkä olla vähemmän digitaitoa.”

Opettajien 1 ja 2 vastaukset muodostavat tietynlaisen paradoksin. Opettaja 1 toivoo lähestymistapaa, jossa lukiot ja yksittäiset opettajat otettaisiin paremmin huomioon ylhäältä alaspäin suuntautuvan ohjauksen sijaan. Samalla opettaja 2 vaikuttaa näkevän yksittäisille opettajille lankeavan vastuun ongelmana ja toivovan, että digiloikka olisi ollut ohjatumpi ja organisoidumpi.

Törmäämme tapaustutkimuksen tyypilliseen haasteeseen: subjektiivisia näkökantoja tarkastelemalla objektiivisen kokonaiskuvan muodostaminen voi olla ongelmallista. Kenties yhdistävänä teemana molempien opettajien vastauksista voidaan erotella toiveet *kommunikaatiosta* ja *hillitystä aikataulusta*. Digitalisaation halutaan perustuvan tutkimustietoon ja kommunikaatioon opettajien kanssa (vaikka haastateltavien näkemykset toivotusta kommunikaatiotavasta eroavatkin). Toisaalta uskotaan, että hillitympi digitalisaation aikataulu olisi johtanut parempaan lopputulokseen sekä järjestelmien käyttävyys, että opettajien sopeutumisen kannalta.

4.3.12 Tulevaisuuden visioita: opettajat mukaan keskusteluun

Lopuksi haastatteluissa keskusteltiin tietotekniikkaan liittyvistä tulevaisuuden visioista. Mitä koulutuksen digitalisaation suhteen tulisi tulevaisuudessa tehdä toisin? Luvussa 4.2.2 totesimme, että haastateltavat kokivat tietotekniikkaan liittyvän täydennyskoulutuksen määrän pitkälti riittämättömäksi, ja tietotekniikan omaksumisen nähtiin jäävän opettajien oman aktiivisuuden varaan. Näin ollen tulevaisuudesta kysyttäessä esiin nousi juuri koulutuksen kehittäminen niin opettajankoulutuksessa kuin valmistuneillakin opettajilla. Opettaja 2 (työuran pituus 3-5 vuotta) koki koulutuksen olleen opiskeluaikanaan edelleen liian vähäistä:

”Miksei yliopistolla opetettu näitä asioita? Harjoittelussa olisi pitänyt puhua enemmän. Abitti-koejärjestelmään tulee päivityksiä harva se kuukausi, järjestelmää muutetaan jatkuvasti, ja bugit huomataan liian myöhään. [...] Ohjelmistot muuttuvat liikaa, olisi mukava sanoa opiskelijoille että sinun yo-kokeessasi tämä ohjelmisto on tällainen ja nyt opetellaan se.”

Opettaja 5 (työuran pituus yli 20 vuotta) painotti opettajien täydennyskoulutusta. Hän näki ongelmana tietotekniikan omaksumisen liiallisen jäämisen yksittäisten opettajien harrastuneisuuden varaan. Hän toi esille myös näkökulman lukioden alueellisesta eriarvoisuudesta:

”Opettajilla olisi pitänyt olla paljon enemmän koulutusta, koulut ovat todella eriarvoisessa asemassa. Lisäksi fyysiset työskentelytilat ovat joissain kouluissa huonossa tilassa. Kuntien rahatilanne, joissain kouluissa ei ole välttämättä edes opettajien henkilökohtaisia läppäreitä. Kyse ei ole edes pikkulukioista, vaan jopa Etelä-Suomessa on köyhiä kuntia. Koulutuksen olisi pitänyt olla vähemmän opettajien harrastuneisuuden ja mielenkiinnon varassa. Digitalisaation olisi pitänyt olla hallitumpi.”

Luvussa 2.1.2 totesimme, ettei väite lukioden varustelutason alueellisista eroista ole täysin perätön. Pääkaupunkiseutu erottui edukseen muusta Suomesta usealla eri digitalisaation osa-alueella, joihin kuuluivat mm. tietoteknisten laitteiden saatavuus, niiden hyödyntäminen opetuksessa ja opettajien tietotekniset taidot. On kuitenkin huomioitava, että käsittelemämme tutkimustieto oli kerätty ennen ylioppilaskirjoitusten sähköistämistä, ja yleinen trendi sähköistämisen ydinvaiheessa on ollut varustelutason parantuminen.

Ratkaisuksi opettajien koulutukseen opettaja 5 esittää kunnille jaettavia hankerajoja. Koulutuksia toivotaan järjestettäväksi organisoidummin ja keskitetymin koko maan laajuisesti. Kysymykseen voisi tulla jopa koulutusten pakollisuus:

”Hankerahoja kunnille? Koulutuksia on oltava enemmän osana tätä työtä, ettei pidä mennä rehtorilta kysymään. Jos isoa siirtymää edellytetään, voisi olla suomenlaajuisia koulutuksia, joista jokaiseen osallistuu kaikista kouluista sen ja sen verran opettajia.”

Haastatteluissa opettajia puhutti myös sähköisten oppimateriaalien taso. Opettaja 3 näki oppikirjojen kustantajien sopeutuneen digitalisaatioon lukioita hitaammin:

”Vaikka digitalisaation aikataulu oli ihan järkevä, kustantajat ja oppimateriaalit laahaavat jälkijunassa. Alkuvaiheessa opiskelijoita valmennettaessa sähköiseen yo-kokeeseen ei tosin oikein tiedetty, mitä ohjelmistoja mukana olisi. Oli vähän aikaa ei-toivottavaa tilannetta.”

Samoin oppimateriaaleihin kiinnitti huomiota opettaja 4:

”Oppikirjat! Ne ovat jääneet vähän jälkijunaan, on olemassa dynaamisia oppikirjoja mutta vain valokuvina internetissä. Suuri murros on ehkä tulossa, matematiikan kirjat voisivat olla eläväisempiä. Pelejä ja sähköisiä tehtäviä.”

Havainto on äärimmäisen keskeinen. Luvussa 3.1.3 käsittelimme sähköisiä tekstilajeja ja oppimisympäristöjä. Erityisen tärkeiksi sähköisten oppimateriaalien ominaisuuksiksi luokittelimme itsesäätelyn tukemisen ja useiden esitystapojen hyödyntämisen. Lineaarisen oppikirjatekstin tuominen sähköiseen muotoon sellaisenaan ei tuota lisäarvoa, ja voi pahimmillaan tuoda mukanaan kaikki sähköisten tekstilajien käytön kognitiiviset haitat ilman niiden opetuksellisia hyötyjä.

Luvussa 4.2.3 totesimme, että haastateltavat pitivät opiskelijoiden tietoteknisiä taitoja pääpiirteittäin hyvinä. Toisaalta taidoissa havaittiin myös polarisoitumista, ja esitimme spekulatiota mahdollisesta tietotekniikkaa vähän käyttävästä tai siihen negatiivisesti suhtautuvasta opiskelijoiden ryhmittymästä. Syyttävä sormi kohdistui erityisesti peruskoulun opiskelijoille antamiin tietoteknisiin valmiuksiin. Opettaja 4 toivoi tietotekniikkaa jo ala-asteella alkavaksi pakolliseksi oppiaineeksi:

”Miksi tietotekniikka ei ole pakollinen oppiaine ala-asteelta asti? Kymmenten oppiainejärjestelmä jo, kun opetellaan kirjoittamaan.”

Havainto päättää analyysimme keskeiseen kysymykseen. *Voiko opiskelijan olettaa tietotekniikan opiskelukäytön hallitsevaksi diginatiiviksi vain siksi, että hän on viettänyt pienen osan ajastaan aikaa internetissä?* Suomessa toteutetut kansalliset arvioinnit ovat osoittaneet suoriutumisen alemmilla koulutusasteilla korreloivan voimakkaasti myös ylempien koulutusasteiden taitotason kanssa. Opettajien tietoteknisiin taitoihin keskittyminen ei voi tarkoittaa opiskelijoiden sivuuttamista.

5. Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa olemme käsitelleet tietotekniikkaa koulutuksessa useasta eri näkökulmasta. Aloitimme tutkimuksemme ajoittamalla lukiokoulutuksen digitalisaation murrosvaiheen vuosille 2005–2020. Tämän jälkeen tarkastelimme murrosvaiheen aikana koulutuksessa toteutettuja uudistuksia sekä digitalisaation vallitsevaa nykytilaa. Lukiodien tietotekninen varustelutaso on murrosvaiheen aikana systemaattisesti noussut, ja samalla opetussuunnitelmassa tapahtuneet muutokset sekä sähköisen ylioppilaskokeen käyttöönotto ovat muuttaneet opiskelun luonnetta. Lisäksi totesimme, että usealla mittarilla luonnontieteiden ja matematiikan oppimistulokset ovat murrosvaiheen aikana heikentyneet. Lopullisen johtopäätöksen muodostaminen digitalisaation ja oppimistulosten yhteydestä osoittautui haastavaksi. Saatavilla olevan tiedon valossa kuitenkin arvelimme, että parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi olennaista olisi keskittyä digitalisaation laatuun sen sijaan, että tietotekniikan opetuskäyttöön suhtauduttaisiin itseisarvona.

Kysymystä siitä, mitä laadukas digitalisaatio tarkoittaa, lähdimme purkamaan tutustumalla tietotekniikan opetuskäytön kognitiivisia vaikutuksia käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen. Aloitimme käsittelyn kognitiivisen psykologian näkökulmasta käsittelemällä oppista kognitiivisena prosessina, metakognitiivisten taitojen merkitystä oppimiselle sekä tunnetilojen ja psykologisten perustarpeiden huomioimista. Tämän jälkeen tutustuimme konkreettisempaan tutkimustietoon hakukoneiden, sähköisten tekstilajien, sähköisten oppimisympäristöjen, symbolisen laskennan ohjelmistojen ja automaattisen tuutorointiohjelmien eduista ja haitoista. Lopuksi siirryimme tutkielman tutkimukselliseen osuuteen, jossa analysoimme viiden lukion opettajan haastatteluista koostettua laadullista aineistoa aiemmissa luvuissa esitellyn tutkimuskirjallisuuden valossa.

Mitä kaikki tämä voi opettaa meille? Tässä luvussa pyrimme muodostamaan viisi tutkimuskirjallisuuteen ja haastatteluihin nojaavaa nyrkkisääntöä sähköistämiselle. Kaikenkattavaa ratkaisua tietotekniikan optimaaliseen opetuskäyttöön tuskin on. Usein niin koulutuslaitoksessa kuin laajemmassakin yhteiskunnassa yhdelle, absoluuttisen oikealle toimintatavalle ja lopulliselle totuudelle perustuvat uudistukset ovat epäonnistuneet. Sen sijaan viisi sääntöä muodostavat tutkielman kirjoittajan subjektiivisen näkökannan tutkimuskirjallisuuden ydinsanomasta. Tunnustamme, että toinen lukija voisi päätyä johtopäätöksissään erilaisiin painotuksiin. Erityisesti säännöissä korostuu sähköisten oppi-

materiaalien ja oppimisympäristöjen oikeaoppinen suunnittelu, toissijaisesti myös niiden luokahuonekäyttö. Niinkään emme ota kantaa digiloikan organisaationaaliseen toteuttamistapaan, vaikkakin on todettava, että aineistossa hyvin yleisiä opettajien kritiikin aiheita olivat joustamattomaksi koettu aikataulu, opettajien ja lukioden kanssa käydyn dialogin puute sekä tutkimuspohjan näkymättömyys.

1. Tuetaan opiskelijan itsesäätelyä

Ensimmäiseksi säännöksi määrittelemme, että niin opetuksen kuin sähköisten oppimisympäristöjenkin tulisi tukea opiskelijan itsesäätelyn taidon kehittymistä. Metakognitiivisista taidoista juuri itsesäätelyn hallinta on onnistuneen tietotekniikan käytön kannalta erittäin keskeistä. Se muodostaa kuin vahvan perustan, jolle tehokas oppiminen rakentuu. Itsesäätelvä opiskelija kykenee lukemaan epälineaarisesti eteneviä hypertekstejä loogisessa järjestyksessä tarkkaillen jatkuvasti lukemansa sisällön oleellisuutta, kun taas heikommin itsesäätelvä opiskelija eksyy helposti linkkien verkkoon. Itsesäätelvä opiskelija kykenee itsenäiseen tiedonhakuun ja saa irti parhaan hyödyn laskentaohjelmistojen, tukitoimintojen ja erilaisten esitystapojen käytöstä. Verkkokursseilla lähes koko oppimisprosessi on itsesäätelyn taidon varassa: missä järjestyksessä suoritan kurssiaktiviteetit ja milloin? Entä kuinka paljon aikaa käytän aktiviteettien suorittamiseen?

Itsesäätely on opittu taito, ei henkilön synnynnäinen ominaisuus. Sähköisiä oppimateriaaleja rakennettaessa sitä voidaan kehittää erilaisilla metakognitiivisilla tuilla. Tutkimustieto tukee esimerkiksi linkkiehdotusten kaltaisten navigaatiotukien ja lyhyiden itselitystehtävien hyödyntämistä. Myös selkeä rakenne, miellyttävä ulkoasu ja sopivan matala linkkimäärä auttavat opiskelijoita sähköisten oppimateriaalien loogisessa navigoinnissa. Pelkän materiaalien suunnittelun lisäksi merkittävässä osassa on kuitenkin myös itsesäätelyn taidon opettaminen. Asiasisällön lisäksi aikaa on käytettävä siihen, että opiskelijat *opetetaan oppimaan* esimerkiksi perehdyttämällä heidät erilaisiin oppimisstrategioihin. Kuinka jäsenän oppimiseen käytetyn ajan? Opettelenko ratkaisemaan ongelman käsin, ennen kuin hyödynnän symbolisen laskennan ohjelmistoa? Kokeilenko tehtävää itse, ennen kuin kysyn apua tai käytän tuutorointiohjelman vihjetoimintoa? Kuinka löydän oleellista ja luotettavaa tietoa, jos lähteenäni onkin oppikirjan sijasta koko maailmanlaajuinen tietoverkko? Opiskelijaa ei tarvitse heittää tietotekniikan maailmaan kylmiltään, vaan kaikkia näitä kysymyksiä voidaan yhdessä käsitellä luokassa.

2. Luodaan valinnanvapauden illuusio

Toiseksi säännöksi määrittelemme, että sähköisessä oppimisympäristössä pitäisi pyrkiä luomaan valinnanvapauden illuusio. Termi on hieman raflaava, mutta viittaa vain kahden oppimisen kannalta keskeisen psykologisen perustarpeen, omaehtoisuuden ja kyvykkyy-

den kokemuksen, tasapainottamiseen. Omaehtoisuudella tarkoitetaan henkilön kokemusta siitä, että hän hallitsee itse omaa toimintaansa ja toimii oman sisäisen motivaation-
sa johdattamana. Sähköisissä oppimisympäristöissä omaehtoisuuden kokemusta voidaan vahvistaa omaehtoisuuden tuilla. Kyvykkyydellä puolestaan tarkoitetaan henkilön kokemusta siitä, että hän on annettujen tehtäviensä tasalla ja kykenee suoriutumaan niistä ansiokkaasti. Sähköisissä oppimisympäristöissä kyvykkyyden kokemusta puolestaan voidaan vahvistaa rakenteellisilla tuilla.

Omaehtoisuutta tukeva oppimisympäristö minimoi ulkoisen paineen, tunnistaa opiskelijan henkilökohtaiset tavoitteet ja tarjoaa opiskelijalle valinnanvapautta. Erityisesti valinnanvapaudella on todettu olevan positiivinen vaikutus tietotekniikkaa käyttävien opiskelijoiden motivaatioon. Sähköisiä oppimateriaaleja suunniteltaessa sitä voidaan yksinkertaisimmillaan tarjota esimerkiksi vaihtoehtoisilla aineisto- ja tehtävätyypeillä. Toisaalta verkkokurssit voivat mahdollistaa pidemmälle viedyn valinnanvapauden vaihtoehtojen etenemisjärjestyksien ja jopa oppimissisältöjen muodossa. Kyvykkyyttä edesauttavilla rakenteellisilla tuilla viitataan hyvin määriteltuihin oppimistavoitteisiin, merkityksen antamiseen kunkin tavoitteen saavuttamiselle, sekä selkeisiin ohjeistuksiin ja toimintamalleihin. Tärkeä tekijä on myös annettujen tehtävien sopiva vaikeusaste. Valinnanvapauden illuusio muodostuu näiden kahden tukirakenteen keskinäisestä tasapainosta – sähköisen oppimateriaalien tulisi johdatella opiskelijaa hellästi kohti määrittelyjä oppimistavoitteita ilman, että hän kuitenkaan kuitenkaan kokisi ulkoista painostusta.

3. Rakennetaan osaamista jo perusasteella

Kolmannessa säännössä siirrymme sähköisten oppimateriaalien suunnittelusta koulutusjärjestelmän kokonaiskuvaan. Toteamme, että tietoteknistä osaamista tulisi rakentaa jo perusasteella. Hyvin usein tieto ja osaaminen rakentuu pyramidin lailla aiemman tiedon ja osaamisen päälle. Esimerkiksi oppilaiden perusasteella saavuttama matemaattinen osaamistaso ennustaa hyvin heidän osaamistasoaan toisen asteen lopussa. Samoin ylioppilaskokeiden arvosanojen on todettu toimivan hyvänä jatko-opintomenestyksen ennustajana. Oppilaitosten digitalisaatiota tarkastellessamme olemme huomanneet, että sekä varustelutaso että tietotekniikan hyödyntäminen kasvaa systemaattisesti siirryttäessä alemmilta koulutusasteilta korkeammille koulutusasteille. Myös haastatteluista koostuvassa aineistossamme totesimme esiintyvän skeptisismiä lukion aloittavien opiskelijoiden tietoteknisestä lähtötasosta. Voidaanko opiskelija leimata diginatiiviksi vain syntymävuotensa perusteella? Voidaanko hänen sanoa hallitsevan sähköisen tiedonhaun vain siksi, että hän käyttää vapaa-ajallaan tietotekniikkaa viihdekäyttöön?

Tietoteknisen osaamisen rakentamista perusasteella voidaan lähestyä useasta eri näkökulmasta. Perusopetuksen opetussuunnitelmassa tieto- ja viestintäteknologinen osaa-

minen on jo nyt määritelty yhdeksi laaja-alaiseksi osaamiskokonaisuudeksi. Lukiokoulutuksen kaltainen tietotekniikan jatkuva läsnäolo tunneilla esimerkiksi kannettavien tietokoneiden muodossa ei liene mielekäs ratkaisu niin ergonomisesta, ajankäytöllisestä kuin terveydellisestäkään näkökulmasta. Ajoittain keskusteluun on kuitenkin noussut tietotekniikan lisääminen uudeksi perusasteen oppiaineeksi. Ajatus voisi olla harkitsemisen arvoinen siitäkin huolimatta, että opetussuunnitelmakeskustelulla on taipumus nostattaa voimakkaita tunteita – kun uutta sisältöä lisätään, joutuu myös vanhaa sisältöä karsimaan. Toisaalta jo lukiossa tyypillisten perusohjelmistojen laajemmalla käyttöönotolla yläasteen matemaattisten aineiden opetuksessa voisi olla vaikutuksensa. Korostettava on myös itsesäätelyn kaltaisten metakognitiivisten taitojen merkitystä. Oppimisstrategioiden huomiointi perusasteella voisi muodostaa jatko-opinnoille erinomaisen perustan.

4. Rajataan tietotekniikalle apuvälineen rooli

Neljännessä säännössä käsittelemme tietotekniikan luokkahuonekäyttöä. Toteamme, että tietotekniikka tulisi opetuksessa rajata apuvälineen rooliin sen sijaan, että sen käyttöä pidettäisiin opetuksen sisältönä. Tutkimustieto tietotekniikan vaikutuksista muistiin ja muihin kognitiivisiin toimintoihin nostattaa merkittäviä kysymyksiä. Esimerkiksi sähköisten tekstilajien käyttö kuormittaa lukijaa pakottamalla tämän kohdistamaan osan kognitiivisista resursseistaan muihin toimintoihin kuin tiedon prosessointiin. Erityistä huolta on herättänyt mahdollisuus, että sähköisten tekstilajien häiritsevät elementit voisivat vahingoittaa syvälukutaidon kehittymistä lapsuudessa ja nuoruudessa. Samalla älylaitteiden jatkuva saatavuus on johtanut riippuvuussuhteiden muodostumiseen ja moniajon yleistymiseen. Riippuvuussuhteiden syntyä tutkimustieto tukee esimerkiksi hakukoneiden käytön osalta. Moniajon, eli huomion jakamisen useamman tehtävän kesken, negatiivisesta vaikutuksesta oppimiseen puolestaan on löydetty vahvaa näyttöä niin kasvatustieteellisessä tutkimuksessa kuin aivotutkimuksessa. Vaikutusta voidaan hillitä metakognitiivisilla taidoilla ja oppimateriaalien oikeaoppisella suunnittelulla.

Matemaattisten aineiden opetuksessa olennainen kysymys on laskentaohjelmistojen luokkahuonekäyttö. Symbolisen laskennan on nähty edustavan samankaltaista kognitiivisten toimintojen ulkoistamista kuin hakukoneiden käytön. Samalla sillä vaikuttaa kuitenkin olevan useita oppimisen kannalta positiivisia vaikutuksia: esimerkiksi graafisen laskimen käyttö edistää funktion ja muuttujan käsitteiden ymmärtämistä, soveltavien algebrallisten ongelmien ratkaisemista, ja kykyä tulkita kuvaajia. Vastaavasti negatiiviset vaikutukset ilmenevät erityisesti oppijoiden aritmeettisissa taidoissa. Se, edustaako tämä vaihtokauppa perinteisen päässälaskutaidon ja syvällisemmän matemaattisen ymmärryksen välillä, on kiistanalaista: vaikka merkittävin matematiikan oppimistuloksia ennustava tekijä on matemaattinen päättelykyky, muodostavat myös aritmeettiset taidot itsenäisen, joskin

vähäisemmän, komponenttinsa. Näin ollen pedagoginen periaate laskentaohjelmistoista apuvälineinä lienee perusteltu. Haastatteluaineistossamme ajatus ilmenee intuitiivisena ohjenuorana, että ohjelmiston käyttöönottoa tulisi edeltää matemaattisen perustaidon hallinta käsin. Toki perustaidon määrittäminen on myös arvovalinta, ja matematiikan ylioppilaskokeen jakauduttua kahteen osaan voisi myös opetussuunnitelmalta olla perusteltua edellyttää tarkempaa käsin hallittavien perustaitojen määrittelyä.

5. Vältetään digitalisaation pitämistä itseisarvona

Viidenneksi ja viimeiseksi säännöksi määrittelemme, että koulutuksen digitalisaatiota ei tulisi pitää itseisarvona. Lukiokoulutuksen digitalisaation murrosvaiheessa 2005–2020 näimme voimakkaan pyrkimyksen tietotekniikan opetuskäytön lisäämiseen, joka huipentui ylioppilaskokeiden sähköistämiseen vuosina 2016–2019. Tässä tutkielmassa olemme käsitelleet sekä tietotekniikan hyötyjä että haittoja, ja tavoitteenamme on ollut mahdollisimman monipuolinen hyötykäyttö hilliten samalla digitalisaation haittavaikutuksia. Kerta toisensa jälkeen meille on osoittautunut, että tietotekniikan maailmassa laatu voittaa määrän. Viitteitä tästä näimme jo tarkastellessamme tulkintoja matemaattisten aineiden oppimistuloksissa havaitusta kehityksestä. Käsittelimme myös meta-analyysiä, jossa tietotekniikalla havaittiin olevan positiivinen vaikutus oppijoiden motivaatioon ja oppimistuloksiin – mutta vaikutus oli suurimmillaan tilanteissa, joissa tietotekniikan käyttö kertojen määrä oli vähäisempi.

Pohditaan vaikkapa sähköisiä tekstilajeja. Tutkimustiedon perusteella luetunymärtäminen on tehokkainta perinteistä oppikirjatekstiä käytettäessä. Erityisen kognitiivisesti kuormittavia tekstejä ovat hypertekstit, joiden jäsennelty lineaarisuus on tyypillisesti vähäistä. Verkossa liikkuaan oppija joutuu myös jatkuvasti tarkastelemaan lukemansa tiedon oleellisuutta ja luotettavuutta. Samalla sähköisten tekstilajien haittavaikutuksia on kuitenkin mahdollista hillitä, ja jotkut ominaisuudet tuovat niille selkeitä etuja verrattuna paperikirjoihin. Esimerkiksi sopivan matala linkkimäärä ja linkkiehdotusten kaltaiset kognitiiviset tuet vähentävät tekstin kuormittavuutta. Lisäksi useiden esitystapojen hyödyntämisen multimediaformaattien avulla on todettu edesauttavan tiedon omaksumista. Sähköiset oppimisympäristöt mahdollistavat myös vihjeiden ja aktiivisen palautteen kaltaiset tukirakenteet, jotka ovat edistyneimmillään automaattisissa tuutorointiohjelmissa. Eniten vastaavista tuista vaikuttavat hyötyvän heikkotasoisemmat oppijat. Digitalisaation kohteleva itseisarvona johtaa siihen, että opetukseen tuodaan sähköistämisen haitat vailla sen hyötyjä. Esimerkiksi haastatteluaineistossa kritisoituja e-kirjoja ei ole mielekästä rakentaa paperikirjojen digitaalisiksi kopioiksi hyödyntämättä kognitiivisia tukia ja erilaisia multimediaformaatteja. Onnistuneen digitalisaation mittapuuna toimii yksinkertainen kysymys: *Tuoko sähköistäminen oppimistilanteeseen lisäarvoa?*

6. Loppusanat

Tämän tutkielman johdantokappaleessa totesimme koulutuksen digitalisaatiopyrkimyksen syntyneen reaktiona yhteiskunnan taloudellisiin tarpeisiin. Yhteiskunta kohdistaa luakilaisiin sekä muihin koulutusjärjestelmän piirissä oleviin lapsiin ja nuoriin odotuksia, jotka valtaosa heistä joutuu kohtaamaan siirryttyään työelämään. Taloudellisista tarpeista nousseen yhteiskunnallisen muutoksen tyypillinen ominaisuus on peruuttamattomuus, ja paluuta perinteiseen paperi-vihko-liitutaulu -opetukseen ei liene odotettavissa. Siksi koulutuslaitoksen rooliksi jää sopeutua tapahtuneeseen muutokseen. Osa kirjoittajista käyttää muutoksesta käsitettä digitaalinen vallankumous, ja kuten tavallista, jokaisella vallankumouksella on voittajansa ja uhrinsa. Puhuttiin sitten uuteen tilanteeseen sopeutumattomista ammattikunnista tai tietotekniikan opetuskäytön kognitiivisista vaikutuksista, johon olemme edellisissä luvuissa muodostaneet pintaraapaisun (eksyen toisinaan filosofisiinkin pohdintoihin).

Käsite *kognitiivinen vaikutus* voi herättää huolestuneisuutta, sisältyhän siihen ajatus koko sisäistä mielenmaisemaamme koskevasta muutoksesta. Eräs oppimisen määritelmä on prosessi, joka mahdollistaa käytöksessämme tietyn muutoksen. Siten oppimisprosessissa tapahtuvilla muutoksilla on potentiaalia muovata sitä kokonaisuutta, joka määrittää, millaisiksi kasvamme ihmisinä. Syytä alarmismiin ei kuitenkaan ole, sillä tietotekniikan nousu ei ole kognitiivisten vaikutusten nostattajana uniikki ilmiö. Esimerkiksi kirjoitustaidon kehittyminen johti neuroplastisuuden kautta aivoalueissamme tapahtuneisiin muutoksiin. Samoin kaikki tietotekniikan koetut haittavaikutukset eivät ole sille ainutlaatuisia. Vaikkapa keskittymiskyvyn ongelmat ovat olleet luokkahuoneissa läsnä aina, ja tietotekniikan läsnäolo on vain kanavoinut ne uudelleen. Tietyillä aihealueilla olemme todenneet tietotekniikan opetuskäytön tuottavan myös selkeitä etuja perinteisiin opetusmenetelmiin nähden. Hyvin usein kyseessä on vaihtokauppa, jonka toteuttaminen on pedagoginen valinta – kenties myös arvovalinta.

Sekä tietotekniikkaan liittyvän kognitiivisen psykologian tutkimustiedon tarve että määrä kasvaa jatkuvasti, ja valtaapitävien velvollisuudeksi jää tiedon kriittinen tarkastelu ja soveltaminen. Kuten todettua, kaikenkattavaa ratkaisua tai yleispätevää toimintatapaa tuskin on. Lisäksi digitalisaatio on edelleen historiallisena ilmiönä suhteellisen tuore, ja laajan varmuuden saavuttaminen sen kaikista vaikutuksista voi viedä vuosikymmeniä.

Tutkimustietoa käsitellessämme olemmekin tämän osaltamme havainneet joidenkin aihealueiden ristiriitaisten tulosten muodossa. Estettä aihealueittain tapahtuvalle hyötyjen, haittojen ja toimintatapojen punnitsemiselle olemassaolevaa tutkimustietoa hyödyntäen ei kuitenkaan ole. Tämän voimme toteuttaa ilman dogmatismia pitämättä digitalisaatiota niin itseisarvona kuin oppimistuloksia rapauttavana paholaisenakaan.

Viitteet

- Azevedo, R., & Aleven, V. (2013). *International handbook of metacognition and learning technologies*. Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-5546-3
- Barab, S., Young, M., & Wang, J. (1999). The effects of navigational and generative activities in hypertext learning on problem solving and comprehension. *International Journal of Instructional Media*, 23, 283.
- Boekaerts, M., Pintrich, P., & Zeidner, M. (2005). *Handbook of self-regulation*. Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-109890-2.X5027-6
- Bojanova, I. (2014). The digital revolution: What's on the horizon? *IT Professional*, 16, 8-12. doi: 10.1109/MITP.2014.11
- Burrill, G., et al. (2002). *Handheld graphing technology in secondary mathematics: Research findings and implications for classroom practice*. Michiganin osavaltionyliopisto. Lainattu saatavilla http://www.audentia-gestion.fr/TEXAS-INSTRUMENTS-EDUCATION/Burrill_G_%202002.pdf
- Corbett, A., McLaughlin, M., & Scarpinato, K. (2000). Modeling student knowledge: Cognitive tutors in high school and college. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 10, 81-108.
- Deci, E., & Ryan, R. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11, 227-268. doi: 10.1207/S15327965PLI1104_01
- Feuillet, L., Durouf, H., & Pelletier, J. (2007). Brain of a white-collar worker. *Lancet*, 370, 262.
- Finlex. (s.a.). *Laki ylioppilastutkinnosta 502/2019*. Lainattu saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190502> (2020-04-18)
- Firth, J., et al. (2019). The "online brain": how the internet may be changing our cognition. *World Psychiatry*, 18, 119-129.
- Hautamäki, J., et al. (2012). *Lukion tuottamat jatkokoulutusvalmiudet korkeakoulutuksen näkökulmasta* (nro 59). Koulutuksen arviointineuvosto. Lainattu saatavilla https://karvi.fi/app/uploads/2014/09/KAN_59.pdf
- Higgins, K., Huscroft-D'Angelo, J., & Crawford, L. (2019). Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis. *Journal*

- of Educational Computing Research*, 57, 283-319. doi: 10.1177/0735633117748416
- Hirvonen, K. (2012). *Onko laskutaito laskussa?: Matematiikan oppimistulokset peruskoulun päättövaiheessa 2011* (nro 2012:4). Opetushallitus. Lainattu saatavilla https://karvi.fi/app/uploads/2014/11/OPH_0911.pdf
- Iltalehti. (2013). *Romahdus kouluissa - hankaloittaa jo arkielämää*. Lainattu 2020-07-18, saatavilla <https://www.iltalehti.fi/uutiset/a/2013031916803569>
- Kankaanranta, M. (2011). *Opetusteknologia koulun arjessa*. Jyväskylän yliopisto.
- Kansainvälinen televiestintäliitto. (s.a.). *Statistics*. Lainattu 2020-04-20, saatavilla <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
- Kupiainen, S., Marjanen, J., & Ouakrim-Soivio, N. (2018). *Ylioppilas valintojen pyörteissä* (nro 14). Suomen ainedidaktinen tutkimusseura. Lainattu saatavilla https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/231687/Ad_tutkimuksia_14_verkkojulkaisu.pdf
- Lee, Y. (2019). Using self-organizing map and clustering to investigate problem-solving patterns in the massive open online course: An exploratory study. *Journal of Educational Computing Research*, 57, 471-490. doi: 10.1177/0735633117753364
- Lehman, B., D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Confusion and complex learning during interactions with computer learning environments. *Internet and Higher Education*, 15, 184-194.
- Lin, Y.-G., McKeachie, W., & Kim, Y. (2001). College student intrinsic and/or extrinsic motivation and learning. *Learning and Individual Differences*, 13, 251-258. doi: 10.1016/S1041-6080(02)00092-4
- Loh, K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition? *The Neuroscientist*, 22, 506-520. doi: 0.1177/1073858415595005
- Lukiolaisbarometri. (2019). *Raportti d. oppimisen digitalisaatio*. Opiskelun ja koulutuksen tutkimussäätiö. Lainattu saatavilla <https://www.otus.fi/wp/wp-content/uploads/2019/11/Raportti-D-Oppimisen-digitalisaatio.pdf>
- Mangen, A., Walgermo, B., & Brønnick, K. (2013). Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension. *International Journal of Educational Research*, 58, 61-68. doi: 10.1016/j.ijer.2012.12.002
- Marsh, E., & Rajaram, S. (2019). The digital expansion of the mind: Implications of internet usage for memory and cognition. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 8, 1-14.
- Martin, M., et al. (2000). *Timss 1999 international science report*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saatavilla https://timss.bc.edu/timss1999i/pdf/T99i_Sci_All.pdf
- Martin, M., et al. (2012). *Timss 2011 international results in science*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saa-

- tavilla https://timssandpirls.bc.edu/timss2011/downloads/T11_IR_Science_FullBook.pdf
- Martin, M., et al. (2016). *Timss 2015 international results in science*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saatavilla <http://timss2015.org/wp-content/uploads/filebase/full%20pdfs/T15-International-Results-in-Science.pdf>
- Melguizo, P., Madrid, R., & van Oostendorp, H. (2008). *The importance of navigation support and reading order on hypertext learning and cognitive load* (osa 2).
- Metsämuuronen, J. (2017). *Oppia ikä kaikki - matemaattinen osaaminen toisen asteen koulutuksen lopussa 2015* (nro 1:2017). Kansallinen koulutuksen arviointikeskus. Lainattu saatavilla https://karvi.fi/app/uploads/2017/03/KARVI_0117-1.pdf
- Mikkilä, J. (2013). *Kehityksen paikka: Selvitys lukiolaisten suhteesta tieto- ja viestintätekniikkaan sekä sähköisiin oppimateriaaleihin*. Suomen Lukiolaisten Liitto.
- Mueller, P., & Oppenheimer, D. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological Science*, 25, 1-10. doi: 10.1177/0956797614524581
- Mullis, I., et al. (2000). *Timss 1999 international mathematics report*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saatavilla https://timss.bc.edu/timss1999i/pdf/T99i_Math_All.pdf
- Mullis, I., et al. (2012). *Timss 2011 international results in mathematics*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saatavilla https://timssandpirls.bc.edu/timss2011/downloads/T11_IR_Mathematics_FullBook.pdf
- Mullis, I., et al. (2016). *Timss 2015 international results in mathematics*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Lainattu saatavilla <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/wp-content/uploads/filebase/full%20pdfs/T15-International-Results-in-Mathematics.pdf>
- Nunes, T., et al. (2011). The relative importance of two different mathematical abilities to mathematical achievement. *British Journal of Educational Psychology*, 82, 136-156. doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02033.x
- Nussbaumer, A., et al. (2014). A framework for facilitating self-regulation in responsive open learning environments. *Informatik*. Lainattu saatavilla <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1407/1407.5891.pdf>
- OAJ. (2016). *Askelmerkit digiloikkaan*. Lainattu saatavilla <https://www.oaj.fi/ajankohtaista/julkaisut/2016/oajn-askelmerkit-digiloikkaan/>
- OAJ. (2019). *Toimivaa digitalisaatiota!* Lainattu saatavilla <https://www.oaj.fi/>

- globalassets/julkaisut/2019/toimivaa-digitalisaatiota_3_2019.pdf
- OECD. (s.a.). *Country note: Results from pisa 2018*. Lainattu 2020-07-11, saatavilla https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_FIN.pdf
- OECD. (2007). *Pisa 2006: Science competencies for tomorrow's world* (osa 1). Lainattu saatavilla <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264040014-en.pdf>
- Olsen, R., & Nilsen, T. (2017). *Standard setting in pisa and timss and how these procedures can be used nationally*. Lainattu saatavilla https://www.researchgate.net/publication/314102032_Standard_Setting_in_PISA_and_TIMSS_and_How_These_Procedures_Can_Be_Used_Nationally doi: 10.1007/978-3-319-50856-6
- Opetus- ja kulttuuriministeriö. (2019). *Lukioselvitys: Kooste lukion nykytilaa ja kehittämistarpeita koskevasta selvityksistä ja tutkimuksista*. Lainattu saatavilla https://minedu.fi/documents/1410845/5394394/LUKIOSELVITYS_21_11_2017.pdf
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Lainattu saatavilla https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf
- Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015*. Lainattu saatavilla https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf
- Opetushallitus. (2018). *Toisen asteen koulutuksen koulutuskustannuksia koskeva selvitys*. Lainattu saatavilla <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/toisen-asteen-koulutuksen-koulutuskustannuksia-koskeva-selvitys.pdf>
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. Lainattu saatavilla https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf
- Petko, D., Cantieni, A., & Prasse, D. (2017). Perceived quality of educational technology matters: A secondary analysis of students' ict use, ict-related attitudes and pisa 2012 test scores. *Journal of Educational Computing Research*, 54, 1070-1091. doi: 10.1177/0735633116649373
- Pyke, A., & LeFevre, J.-A. (2011). Calculator use need not undermine direct-access ability: The roles of retrieval, calculation, and calculator use in the acquisition of arithmetic facts. *Journal of Educational Psychology*, 103, 607-616. doi: 0.1037/a0023291
- Ramirez-Arellano, A., Bory-Reyes, J., & Hernández-Simón, L. (2019). Emotions, motivation, cognitive-metacognitive strategies, and behavior as predictors of learning performance in blended learning. *Journal of Educational Computing Research*, 57, 491-512. doi: 10.1177/0735633117753935
- Rathore, M. (2015). Metacognition: A predictor of learning outcome. *The Indian Journal of Social Work*, 76, 559-572.

- Rautopuro, J. (2016). *Läksyt tekijäänsä neuvovat: Perusopetuksen matematiikan oppimistulosten arviointi 9. vuosiluokalla 2015* (nro 20:2016). Kansallinen koulutuksen arviointikeskus. Lainattu saatavilla https://karvi.fi/app/uploads/2016/04/KARVI_2016.pdf
- Rautopuro, J., & Juuti, K. (2015). *Pisa pintaa syvemmältä* (nro 77). Suomen kasvatus-tieteellinen seura. Lainattu saatavilla https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/59526/978-952-5401-82-0_PISA.pdf
- Reed, H., Drijvers, P., & Kirschner, P. (2010). Effects of attitudes and behaviours on learning mathematics with computer tools. *Computers And Education*, 55, 1-15. doi: 10.1016/j.compedu.2009.11.012
- Schleicher, A. (2019). *Pisa 2018: Insights and interpretations*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Lainattu saatavilla https://www.oecd.org/pisa/PISA_2018_Insights_and_Interpretations_FINAL_PDF.pdf
- Singer, L., & Alexander, P. (2017). Reading across mediums: Effects of reading digital and print texts on comprehension and calibration. *The Journal of Experimental Education*, 85, 155-172. doi: 10.1080/00220973.2016.1143794
- Studentum. (s.a.). *Digitaalinen ylioppilaskoe – mitä sinun tulee tietää?* Lainattu 2020-04-18, saatavilla <https://www.studentum.fi/tietoa-opiskelijalle/digitaalinen-ylioppilaskoe-13443>
- Survey of Schools. (2012). *Country profile: Finland*. European Schoolnet. Lainattu saatavilla https://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2018-3/finland_country_profile_2F95B00C-C5E5-C4E9-B37C237CD55B0AD0_49435.pdf
- Taber, K. (2009). *Progressing science education: Constructing the scientific research programme into the contingent nature of learning science*. Springer. doi: 10.1007/978-90-481-2431-2
- Valtioneuvoston kanslia. (2003). *Pääministeri matti vanhasen hallituksen ohjelma*. Lainattu saatavilla <https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/369117/hallitusohjelma-vanhanen.pdf/da627124-c0ee-4015-9642-197b11013c02>
- Valtioneuvoston kanslia. (2007). *Pääministeri matti vanhasen ii hallituksen ohjelma*. Lainattu saatavilla <https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/368562/hallitusohjelma-vanhanen-II/2a27514c-b939-4bb6-9167-ce886c358dff/hallitusohjelma-vanhanen-II.pdf>
- Valtioneuvoston kanslia. (2011). *Pääministeri jyrki kataisen hallituksen ohjelma*. Lainattu saatavilla <https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/147449/Kataisen+hallituksen+ohjelma/81f1c20f-e353-47a8-8b8f-52ead83e5f1a/Kataisen+hallituksen+ohjelma.pdf>
- Valtioneuvoston kanslia. (2015). *Ratkaisujen suomi: Pääministeri juha sipilän hallituksen*

- strateginen ohjelma*. Lainattu saatavilla https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1427398/Ratkaisujen+Suomi_FI_YHDISTETTY_netti.pdf
- van Loon, A.-M., Ros, A., & Martens, R. (2012). Motivated learning with digital learning tasks: what about autonomy and structure? *Educational Technology Research and Development*, 60, 1015-1032.
- Yleisradio. (2019). *Fysiikan ylioppilaskoe, kevät 2019. tehtävä 1, kohta 9*. Lainattu saatavilla <http://yle.fi/plus/abitreenit/2019/kevat/FY-fi/index.html>
- Yleisradio. (2020a). *Fysiikan ylioppilaskoe, kevät 2020. tehtävä 2*. Lainattu saatavilla http://yle.fi/plus/abitreenit/2020/kevat/2020-03-26_FY-fi/index.html
- Yleisradio. (2020b). *Matematiikan lyhyen oppimäärän ylioppilaskoe, kevät 2020. tehtävä 11*. Lainattu saatavilla http://yle.fi/plus/abitreenit/2020/kevat/2020-03-18_N-fi/index.html
- Ylioppilastutkintolautakunta. (s.a.-a). *Koejärjestelmässä käytettävissä olevat ohjelmat*. Lainattu 2020-06-18, saatavilla <https://www.ylioppilastutkinto.fi/ylioppilastutkinto/digitaalinen-ylioppilastutkinto/koejarjestelman-ohjelmat>
- Ylioppilastutkintolautakunta. (s.a.-b). *Pisterajat*. Lainattu 2020-07-11, saatavilla <https://www.ylioppilastutkinto.fi/ylioppilastutkinto/pisterajat>
- Ylioppilastutkintolautakunta. (2018a). *Tiedote fysiikan opettajille ja opiskelijoille: Fysiikan digitaalinen ylioppilaskoe*. Lainattu saatavilla https://www.ylioppilastutkinto.fi/images/sivuston_tiedostot/Sahkoinen_tutkinto/fy_tiedote-fi-1.pdf
- Ylioppilastutkintolautakunta. (2018b). *Tiedote matematiikan opettajille ja opiskelijoille: Matematiikan digitaalinen ylioppilaskoe*. Lainattu saatavilla https://www.ylioppilastutkinto.fi/images/sivuston_tiedostot/Sahkoinen_tutkinto/matematiikka_tiedote_digitaalinen_koe.pdf
- Ylioppilastutkintolautakunta. (2019). *Ylioppilastutkinnon kehittämis- ja toimeenpanosuunnitelma 2019–2022*. Lainattu saatavilla https://www.ylioppilastutkinto.fi/images/sivuston_tiedostot/Kehittaminen/ylioppilastutkinnon_kehittamis-_ja_toimeenpanosuunnitelma_2019-2022.pdf

A. Haastattelukysymykset

1. Millaiset tietotekniset valmiudet lukiossasi on?
2. Kuinka paljon hyödynnät tietotekniikkaa omassa opetuksessasi?
3. Onko sinulle järjestetty koulutusta tietotekniikkaan liittyen?
4. Kuinka haastavaksi olet kokenut tietotekniikan omaksumisen opetuksessa?
5. Entä kuinka hyvin opiskelijat ovat mielestäsi omaksuneet tietotekniikan käytön?
6. Järjestetäänkö lukiossasi sähköisiä kokeita?
7. Kuinka luotettavasti tietotekniikka on mielestäsi toiminut sähköisissä kokeissa?
8. Oletko havainnut tietotekniikalla olevan vaikutusta opiskelijoiden keskittymiskykyyn?
9. Kuinka paljon hyödynnät opetuksessasi laskenta- ja piirto-ohjelmistoja?
10. Kuinka hyödylliseksi koet laskenta- ja piirto-ohjelmistot?
11. Kuinka helppokäyttöiseksi koet laskenta- ja piirto-ohjelmistot?
12. Kuinka nopeaa kaavojen kirjoittaminen symbolisen laskennan ohjelmistoilla mielestäsi on verrattuna käsin kirjoittamiseen?
13. Kuinka paljon painotat opetuksessasi matemaattisia perustaitoja, kuten ongelmien ratkaisua käsin?
14. Oletko havainnut muutosta opiskelijoiden matemaattisissa perustaidoissa aikana, jonka olet toiminut opettajana?
15. (*Kysytään vain fysiikan opettajilta*) Kuinka paljon hyödynnät opetuksessasi mittausohjelmistoja?
16. (*Kysytään vain fysiikan opettajilta*) Kuinka hyödylliseksi koet mittausohjelmistot?

17. (*Kysytään vain fysiikan opettajilta*) Kuinka helppokäyttöiseksi koet mittausohjelmistot?
18. Koetko, että ylioppilaskokeiden sähköistäminen on muuttanut niissä tarvittavia taitoja? Entä kokeiden vaikeustasoa?
19. Kuinka paljon käytät aikaa ylioppilaskokeissa sallittujen ohjelmistojen opettamiseen?
20. Mitä sallituista ohjelmistoista opetat opiskelijat käyttämään?
21. (*Kysytään vain matematiikan opettajilta*) Mitä mieltä olet matematiikan ylioppilaskokeen jakamisesta A- ja B-osaan?
22. Pidätkö ylioppilaskokeiden sähköistämistä yleisesti ottaen hyvänä vai huonona uudistuksena?
23. Onko vielä muita tapoja, joilla hyödynnät tietotekniikkaa opetuksessa?
24. Entä tuleeko mieleesi vielä muita tietotekniikan aiheuttamia haasteita tai ongelmia?
25. Kuinka onnistuneeksi arvioisit lukio-opetuksen digitalisaation kokonaisuudessaan?
26. Olisiko digitalisaation suhteen mielestäsi voinut tehdä jotakin paremmin, tai tulisiko tulevaisuudessa tehdä jotakin toisin?